

KAEDAH PENGESANAN AUTOMATIK SALUR DARAH RETINA UNTUK IMEJ
DIGITAL FUNDUS

AIN BINTI NAZARI

PTTAUTHM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2017

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, bersyukur ke atas ilahi dengan limpahan rahmat serta nikmat masa, nyawa tenaga, kematangan fikiran, kesihatan yang baik dari segi fizikal, mental dan rohani untuk menyiapkan kajian dan tesis ini dalam bentuk sebegini rupa. Semoga kajian ini dapat dimanfaatkan kepada agama, bangsa dan negara.

Jutaan penghargaan dan terima kasih yang tidak terhingga kepada Prof. Dato' Ir. Dr. Mohd. Marzuki Mustafa selaku penyelia utama atas bantuan, bimbingan, teguran, idea dan nasihat yang tidak ternilai sepanjang tempoh kajian ini. Tidak lupa juga kepada penyelia bersama iaitu Dr. Mohd Asyraf Zulkifley yang banyak berkongsi ilmu dan kepakaran yang diberikan. Sesungguhnya, hanya Allah sahaja yang mampu membalas segala jasa baik yang diberikan.

Penghargaan diberikan kepada Kementerian Pendidikan Malaysia dan Universiti Tun Hussein Onn Malaysia atas sokongan dan tajaan kewangan sepanjang proses pengajian siswazah ini. Tidak ketinggalan ucapan terima kasih kepada warga kerja UKM dan khususnya FKAB atas kerja sama yang diberikan.

Seterusnya penghargaan teristimewa buat suami yang dikasihi, Mohd Fakrul Adli Abd Razak dan anak tersayang Aydan atas sokongan yang sentiasa memahami keadaan dan tekanan yang dihadapi semasa menjalankan pengajian. Juga ucapan terima kasih dititipkan khas buat ibu, Jek'yah Abdullah dan terima kasih atas doa arwah bapa, Allahyarham Nazari Jaswadi, serta ahli keluarga atas doa, nasihat dan semangat yang tidak pernah putus telah diberikan.

Tidak lupa juga terima kasih diucapkan kepada rakan-rakan seperjuangan dan alumni dari Makmal Kawalan, JKEES, UKM yang telah banyak berkongsi ilmu dan maklumat serta memberikan suasana penyelidikan yang kondusif dalam menyelesaikan pengajian ini. Penghargaan juga diberikan kepada siapa sahaja yang terlibat sama ada secara langsung atau tidak.

ABSTRAK

Retina ialah satu lapisan membran yang terletak pada belakang mata yang boleh menggambarkan keseluruhan imej salur darah menggunakan kamera fundus. Struktur salur darah pada retina mampu memberikan petunjuk penting untuk mengenal pasti penyakit-penyakit yang berkaitan mata dan badan. Penyakit berkaitan oftalmik dapat dibuktikan dengan perubahan diameter, sudut percabangan, dan kekerintingan pada salur darah retina. Oleh yang demikian, proses saringan digalakkan, namun begitu pemeriksaan yang dilakukan adalah secara manual dan memerlukan kepakaran, masa, dan kos yang tinggi kerana peralatan yang canggih. Suatu kaedah pengesanan salur darah secara automatik diperlukan untuk mendapatkan imej keseluruhan rangkaian salur darah yang lebih efektif berbanding pengesanan secara manual. Hasilnya, keseluruhan struktur salur darah retina dapat dikesan dengan cepat dan tepat. Walau bagaimanapun, pengesanan salur darah merupakan proses yang rumit kerana salur darah retina mempunyai rangkaian salur darah yang rumit dengan kepelbagaian saiz dan lebar. Selain itu, imej retina mempunyai hingar, kontra yang rendah, dan variasi kecerahan pada imej yang sama menyebabkan sukar untuk membezakan salur darah dan latar belakang. Kehadiran lingkaran cakera optik pada imej retina perlu diuruskan dengan baik kerana ia merupakan kawasan paling cerah dan pembuluh darah berasal daripada pusatnya. Objektif utama kajian ini adalah bagi membangunkan kaedah pengesanan automatik salur darah retina untuk imej digital fundus yang cekap. Ia mampu mengesan salur darah secara optimum bermula daripada lingkaran cakera optik sehingga hujung struktur salur darah. Penyelidikan ini mencadangkan tiga fasa utama, iaitu pra-pemprosesan, segmentasi rangkaian salur darah, dan pasca pemprosesan. Fasa pra-pemprosesan ini menyediakan imej retina yang lebih baik berbanding imej asal untuk meningkatkan kontra antara salur darah retina dan latar belakang. Seterusnya, fasa kedua merupakan segmentasi rangkaian salur darah menggunakan model berasaskan garis pengesanan sudut. Kaedah ini dapat mengesan piksel yang mewakili salur darah berdasarkan pencirian yang telah dilakukan. Akhir sekali, fasa yang ketiga ialah fasa pasca pemprosesan yang terbahagi kepada dua, iaitu pengesanan piksel dan penuras piksel berkepentingan. Proses pengesanan dijalankan dengan menggunakan kaedah heuristik dan Otsu terubah. Proses ini menukarkan imej skala kelabu kepada imej perduaan bagi pengesanan salur darah retina, manakala bagi proses penuras piksel berkepentingan, ia terbahagi kepada penyingkiran titik tidak berkepentingan dan memperbaiki piksel yang hilang. Proses ini dijalankan dengan menggunakan sudut pengagihan histogram untuk menentukan taburan yang diperolehi daripada piksel kejiranan. Maklumat ini kemudiannya digunakan untuk menyingkirkan piksel hingar dan menyambungkan piksel yang hilang yang juga merupakan sebahagian daripada salur darah. Dapatan kajian telah membuktikan kaedah yang dicadangkan berjaya mengesan salur darah dengan menunjukkan peningkatan ketepatan bagi pangkalan data DRIVE, HRF, dan STARE iaitu masing-masing 95.58%, 93.40%, dan 94.90%. Berbanding kaedah terdahulu yang hanya mencatatkan ketepatan sebanyak 94.15% dan 93.24% bagi pangkalan data DRIVE dan STARE. Kesimpulannya, kajian ini telah berjaya membangunkan kaedah pengesanan automatik salur darah retina untuk imej digital fundus.

AN AUTOMATED DETECTION OF RETINAL BLOOD VESSEL FOR DIGITAL FUNDUS IMAGE

ABSTRACT

Retina is a layer of membrane located at the back of the eye which can visualize the whole image of blood vessels using camera fundus. The structure of the blood vessels in retina can provide important indication to diagnose diseases related to the eyes and the body. Ophthalmic diseases can be demonstrated by the change in diameter, angle, and tortuosity at the blood vessels of the retina. Hence, pre-screening is recommended, however the screening is done manually and requires expertise, time, and high cost due to the sophisticated equipment. An automatic system detection of the blood vessels is needed to obtain the overall image of blood vessels to become more effective compared to the manual detection. As a result, the overall structure of the retinal blood vessels can be detected quickly and accurately. However, detection of blood vessels is a complex process due to the complex network of the retina and the variation of the vessels width. Other than that, the retinal image has noise, low contrast, and various brightness on the same image, making it difficult to distinguish blood vessels and the background. The presence of the optic disc on the retinal image need to be handled carefully because it is the brightest area and the blood vessels are originated from the optic disc. The main objective of this research is to develop an efficient automated detection of retinal blood vessels for digital fundus image. It is able to detect the blood vessels optimally starting from the optic disc until the end of the structure of the blood vessels. This research proposes three fundamentals phases, namely pre-processing, segmentation of the blood vessels, and post-processing. The pre-processing phase provides an improved retinal image compared to the original image to increase the contrast between the retinal blood vessels and background. Next, the second phase is the segmentation of the retinal blood vessels using a model based on the angle detection line. This method is able to detect pixels that represent blood vessels due to the characterization that has been performed. Finally, the third phase is post-processing phase which is divided into two, namely pixel detection and filtering the pixels of interest. The detection process is carried out using the heuristic and modified Otsu method. This process converts grayscale images into binary images for the detection of retinal blood vessel, while for filtering of the pixels of interest, it is divided into eliminating the pixel and improving the missing pixels. This process is carried out using the histogram angle distribution to indicate the relative distribution of the neighbourhood pixels. This information is then used to remove the pixels noise and join the disconnected pixels which are part of the blood vessels. The experimental results have proven that the proposed method has successfully detected the retinal blood vessels with an average accuracy for DRIVE, HRF, and STARE databases values of 95.58%, 93.40%, and 94.90%. As compared to the previous method which only achieved the accuracy of 94.15% and 93.24% for DRIVE and STARE databases. In conclusion, the research has developed an automated detection of retinal blood vessels for digital fundus image.

KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI ILUSTRASI	x
SENARAI JADUAL	xvii
SENARAI SINGKATAN	xviii
SENARAI TERJEMAHAN	xx
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Penyataan Masalah	3
1.3 Objektif Kajian	7
1.4 Skop Kajian	7
1.5 Organisasi Tesis	8
 BAB II KAJIAN KEPUSTAKAAN	
2.1 Struktur Utama	9
2.1.1 Retina	10
2.1.2 Salur darah	12
2.1.3 Cakera optik	13
2.1.4 Makula dan fovea	14
2.2 Imej Retina Tidak Normal	15
2.2.1 Mikroaneurisma	15
2.2.2 Pendarahan	16
2.2.3 Eksudat	16
2.3 Modaliti Pengimejan Retina	17
2.3.1 Fundus retina	18

2.3.2	Fluoresein angiografi (FA)	19
2.3.3	Optik koheren tomografi (OCT)	21
2.4	Kaedah Pemprosesan Imej Digital	22
2.4.1	Kaedah pendekatan berpenyelia	23
2.4.2	Kaedah pendekatan penapis sepadan	25
2.4.3	Kaedah pendekatan multi-skala	28
2.4.4	Kaedah pendekatan pemprosesan morfologi	32
2.5	Rumusan Kajian Kepustakaan	37

BAB III METODOLOGI KAJIAN

3.1	Pengenalan	39
3.2	Pangkalan Data	40
3.2.1	Pangkalan data DRIVE	41
3.2.2	Pangkalan data HRF	42
3.2.3	Pangkalan data STARE	44
3.3	Kaedah Pengesanan Salur Darah	45
3.4	Fasa Pra-pemprosesan Imej	50
3.4.1	Model I_{ppp} (<i>Pre-processing Phase</i>)	50
3.4.2	Model I_{comp} (<i>Complement Phase</i>)	55
3.5	Fasa Segmentasi Rangkaian Salur Darah	61
3.5.1	Kaedah segmentasi multi-skala (MS)	62
3.5.2	Kaedah segmentasi multi-skala multi-komponen (MSMK)	65
3.5.3	Kaedah segmentasi gabungan multi-skala dan I_{ppp} (PGMSP)	68
3.5.4	Kaedah segmentasi gabungan multi-skala dan I_{comp} (PGMSC)	69
3.6	Fasa Pasca pemprosesan Imej	71
3.7	Pengesanan Piksel	72
3.7.1	Kaedah heuristik	73
3.7.2	Kaedah Otsu terubah	74
3.8	Penyingkiran Titik Tidak Berkepentingan Berdasarkan Kaedah Rantau Kecil (PTTB_RK)	75
3.9	Pembangunan Kaedah Segmentasi Salur Darah	76

3.9.1	Penyingkiran titik tidak berkepentingan berdasarkan kaedah maklumat piksel (PTTB_KMP)	76
3.9.2	Penggabungan titik berkepentingan berdasarkan kaedah maklumat piksel (PTB_KMP)	90
3.10	Penilaian Prestasi	98
3.10.1	Penilaian prestasi prapemprosesan	100
3.10.2	PSNR	100
3.10.3	CNR	101
3.10.4	Penilaian prestasi kaedah pengesanan	101
3.11	Rumusan	103

BAB IV KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	104
4.2	Keputusan Kaedah Prapemprosesan	106
4.2.1	Model I_{ppp}	106
4.2.2	Model I_{comp}	108
4.2.3	Perbezaan antara model I_{ppp} dan model I_{comp}	108
4.3	Keputusan Kaedah Segmentasi Rangkaian Salur Darah	114
4.3.1	Segmentasi garis asas, multi-skala (MS), dan multi-skala multi-komponen (MSMK)	117
4.3.2	Segmentasi gabungan multi-skala dan I_{ppp} (PGMSP)	119
4.3.3	Segmentasi gabungan multi-skala dan I_{comp} (PGMSC)	120
4.4	Keputusan Kaedah Pengesanan Piksel	121
4.4.1	Kaedah Heuristik	122
4.4.2	Kaedah Otsu terubah	124
4.5	Keputusan Penurasan Piksel Berkepentingan	126
4.5.1	Kaedah penyingkiran titik tidak berkepentingan berdasarkan kaedah rantau	129
4.5.2	Penyingkiran titik tidak berkepentingan berdasarkan kaedah hakisan (PTTB_KH) dan penyingkiran titik tidak berkepentingan berdasarkan kaedah maklumat piksel (PTTB_KMP)	129
4.5.3	Penggabungan titik berkepentingan berdasarkan kaedah pengembangan (PTB_KP) dan penggabungan titik berkepentingan berdasarkan kaedah maklumat piksel (PTB_KMP)	132

4.5.4	Kaedah penyingkiran titik tidak berkepentingan berdasarkan kaedah maklumat piksel (PTTB_KMP) dan penggabungan titik berkepentingan berdasarkan kaedah maklumat piksel (PTB_KMP)	133
4.6	Keputusan Kaedah Pengesanan Salur Darah	135
4.6.1	Kaedah garis asas	135
4.6.2	Kaedah multi-skala (MS)	136
4.6.3	Kaedah multi-skala multi-komponen (MSMK)	138
4.6.4	Kaedah pengesanan gabungan multi-skala dan I_{ppp} (PGMSP)	140
4.6.5	Kaedah pengesanan gabungan multi-skala dan I_{comp} (PGMSC)	143
4.7	Penilaian Prestasi Pengesanan Salur Darah	149
4.7.1	Pangkalan data DRIVE	149
4.7.2	Pangkalan data HRF	151
4.7.3	Pangkalan data STARE	154
4.8	Perbandingan Pengesanan Salur Darah Dengan Kajian Terdahulu	154
4.9	Rumusan	158
BAB V KESIMPULAN DAN CADANGAN		
5.1	Kesimpulan	159
5.2	Sumbangan Utama Kajian	161
5.3	Cadangan Kajian Lanjutan	162
RUJUKAN		163
LAMPIRAN		
A	Senarai Penerbitan	170
B	Kedudukan Piksel Bagi Kaedah Rantau	171
C	Nilai $th=0.85$ bagi Pangkalan Data STARE dan HRF	172

SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah	Halaman
1.1	Statistik kajian berkaitan imej retina 3
1.2	Statistik buta peringkat dunia berpunca dari penyakit mata 4
1.3	Perbezaan salur darah pada imej retina 6
1.4	Imej fundus (a) normal (b) diabetik retinopati (c) glaukoma 6
2.1	Struktur anatomi mata 10
2.2	Imej retina (a) normal (b) tidak normal 11
2.3	Kedudukan cakera optik pada retina 11
2.4	Perbezaan antara arteri dan vena (a) kehadiran refleks pusat pada salur darah yang mengandungi arteri dan vena (b) Salur darah diwakili oleh arteri (c) Salur darah diwakili oleh vena 13
2.5	Kekeliruan dalam membandingkan arteri dan vena (a) pada kawasan luar imej salur darah adalah lebih gelap dan refleks pusat tidak dapat dilihat lagi (b) perbezaan saiz bagi salur darah (c) empat contoh arteri dan vena yang sukar dibezakan pada hujung salur (d) persilangan antara arteri dan vena tidak tepat disebabkan oleh cabang arteri 14
2.6	Sampel imej tidak normal untuk retina yang terdiri daripada eksudat, hemoraj dan mikroaneurisma 15
2.7	Mesin fundus 18
2.8	Imej imbasan fundus 19
2.9	Mesin FA 20
2.10	Imej imbasan FA 20
2.11	Mesin OCT 21
2.12	Imej imbasan OCT 22
2.13	Pengkategorian artikel kaedah segmentasi salur darah 23
2.14	Pencarian nilai ambang berdasarkan rantau 27

2.15	Dua belas garisan pengesanan pada $L = 15$ dan $W = 15$ berubah mengikut perbezaan sudut sebanyak 15°	30
2.16	Ilustrasi pembinaan garis pada orientasi (a) 15° (b) 30° (c) 60° (d) 75°	30
3.1	Struktur kaedah kajian sistem segmentasi salur darah secara automatik	40
3.2	Sampel imej pangkalan data DRIVE (a)-(b) Imej fundus retina warna (c)-(d) Imej kesahihan lapangan (e)-(f) Imej topengan	42
3.3	Sampel imej pangkalan data HRF (a)-(c) Imej fundus retina warna (d)-(f) Imej kesahihan lapangan (g)-(i) Imej topengan	43
3.4	Sampel imej pangkalan data STARE (a)-(b) Imej fundus retina warna (c)-(d) Imej kesahihan lapangan	45
3.5	Gambarajah blok memaparkan proses kerja keseluruhan pengesanan dan fasa-fasa yang ditambahbaik dan dibangunkan.	47
3.6	Carta alir memaparkan perbezaan proses dan kaedah yang ditambahbaik bagi kaedah multi-skala dan kaedah multi-skala multi-komponen.	48
3.7	Carta alir memaparkan perbezaan proses dan kaedah yang ditambahbaik bagi kaedah pengesanan PGMSP_RK dan PGMSC_gabungan_KMP.	49
3.8	Perbandingan antara proses fasa pra-pemprosesan sedia ada dan penambahbaik	51
3.9	Carta alir memaparkan perbezaan proses dan kaedah yang ditambahbaik bagi kaedah pengesanan PGMSP_RK dan PGMSC_gabungan_KMP.	52
3.10	Perubahan garis sudut 22.5° yang bermula dari 0° hingga 180° yang digunakan pada imej retina	56
3.11	Perubahan garis sudut 30° yang bermula dari 0° hingga 180° yang digunakan pada imej retina	57
3.12	Carta alir memaparkan perbezaan proses dan kaedah yang ditambahbaik bagi kaedah pengesanan PGMSP_RK dan PGMSC_gabungan_KMP.	58
3.13	Dapatan pengesanan salur darah retina menggunakan nilai ES yang berbeza	60

3.14	Dua belas garisan pengesanan pada $L = 5$ dan $W = 15$ berubah mengikut perbezaan sudut sebanyak 15°	63
3.15	Orientasi untuk 3 piksel (a) 0° , 15° dan 165° (b) 30° , 45° dan 60° (c) 75° , 90° dan 105° (d) 120° , 135° dan 150°	64
3.16	Imej salur darah retina dengan perubahan bagi nilai, L (a) Imej asal (b) $L = 3$ (c) $L = 7$ (d) $L = 11$	64
3.17	Contoh imej (a)-(b) sebelum penormalan (c)-(d) selepas penormalan	67
3.18	Pengesanan garis pada skala, L yang berbeza (a) R_{15}^1 (b) R_{15}^3 (c) R_{15}^5 (d) R_{15}^7 (e) R_{15}^9 (f) R_{15}^{11} (g) R_{15}^{13} (h) R_{15}^{15}	70
3.19	Perbezaan jarak antara S_1 hingga S_{17} untuk satu kitaran lengkap	78
3.20	Kedudukan titik B berada di antara titik A dan C	78
3.21	Contoh proses penyingkiran hingar berdasarkan sudut pengagihan histogram (SPH)	80
3.22	Perbezaan ciri-ciri bagi modul pengurangan hingar (a) Piksel rujukan dalam garis tebal (b) Piksel rujukan dalam garis lurus (c) tiada piksel (d) penyingkiran piksel bersebelahan pada garis lurus (e) penyingkiran piksel pada satu garis lurus tanpa pasangan (f) penyingkiran piksel pada hujung garis serenjang dengan beza satu blok tanpa pasangan	82
3.23	Kedudukan piksel rujukan dalam garis lurus	82
3.24	Pembentukan corak histogram akumulator sudut (S) dan pasangan sudut (P) bagi mengekalkan piksel bukan hingar dalam garis lurus	83
3.25	Perubahan piksel menggunakan data binari menggunakan algoritma bagi kedudukan titik rujukan pada tiga garis piksel yang tebal	84
3.26	Perubahan piksel menggunakan data binari menggunakan algoritma bagi kedudukan titik rujukan pada tiada titik piksel pada lokasi	85
3.27	Kedudukan piksel rujukan pada sebelah garis lurus	86
3.28	Pembentukan corak histogram akumulator sudut (S) dan (P) bagi menyingkirkan piksel pada satu garis lurus	87
3.29	Kedudukan piksel rujukan pada hujung garis serenjang dengan beza satu blok tanpa pasangan	87

3.30	Pembentukan corak histogram akumulator sudut (S) bagi menyingkirkan piksel pada hujung garis serenjang dengan beza satu blok tanpa pasangan	88
3.31	Kedudukan piksel rujukan pada hujung garis serenjang dengan beza satu blok tanpa pasangan dengan beza satu jurang piksel	89
3.32	Pembentukan corak histogram akumulator sudut (S) bagi menyingkirkan piksel pada hujung garis serenjang dengan beza dua blok tanpa pasangan	89
3.33	Perubahan piksel menggunakan data binari (a) Mengekalkan Piksel Bukan Hingar Dalam Garis Lurus (b) Penyingkiran Piksel Bersebelahan Pada Satu Garis Lurus (c) Penyingkiran Piksel Pada Hujung Garis Serenjang Dengan Beza Satu Blok Tanpa Pasangan (d) Penyingkiran Piksel Pada Hujung Garis Serenjang Dengan Beza Dua Blok Tanpa Pasangan	91
3.34	Kedudukan piksel rujukan bagi modul penyambungan salur (a) jurang satu piksel (b) jurang dua piksel (c) jurang tiga piksel	92
3.35	Kedudukan piksel rujukan ketika satu jurang dalam garis lurus	93
3.36	Pembentukan histogram akumulator sudut (S) dan pasangan sudut (P) bagi menukarkan piksel hingar satu jurang dalam garis lurus	94
3.37	Kedudukan piksel rujukan ketika dua jurang dalam garis lurus	95
3.38	Pembentukan histogram akumulator sudut (S) dan pasangan sudut (P) bagi menukarkan piksel hingar dua jurang dalam garis lurus	96
3.39	Kedudukan piksel rujukan ketika tiga jurang dalam garis lurus	96
3.40	Pembentukan histogram akumulator sudut (S) dan pasangan sudut (P) bagi menukarkan piksel hingar tiga jurang dalam garis lurus	98
3.41	Perubahan piksel menggunakan data binari (a) satu jurang (b) dua jurang (c) tiga jurang	99
3.42	Kaedah penilaian prestasi yang digunakan	100
4.1	Gambarajah blok ringkasan kaedah-kaedah kajian	105
4.2	Imej proses kaedah I_{ppp} (a) imej asal (b) imej I dari HSI (c) Imej histogram penyamaan (d) Imej homogen (e) Imej transformasi <i>Top-hat</i>	107
4.3	Imej proses kaedah I_{comp} (a) imej asal (b) imej sempadan lanjutan (c) Imej homogen (d) Imej transformasi <i>Top-hat</i>	109

4.4	Imej akhir prapemprosesan (a) kaedah I_{ppp} (b) kaedah I_{comp}	110
4.5	Keputusan bagi imej normal (a) imej asal (b) kaedah I_{ppp} (c) kaedah I_{comp}	112
4.6	Keputusan bagi imej tidak normal (a) imej asal (b) kaedah I_{ppp} (c) kaedah I_{comp}	113
4.7	Graf perbandingan MSE dan PSNR untuk kaedah I_{ppp} dan kaedah I_{comp} (a) DRIVE (b) HRF (c) STARE	116
4.8	Imej pengesana, R untuk segmentasi (a) garis asas (b) multi-skala (c) MSMK_maksimum (d) MSMK_minimum (e) MSMK_purata	118
4.9	Imej keamatan menggunakan pengesanan kaedah R_{PGMSP}	120
4.10	Imej keamatan menggunakan pengesanan kaedah R_{PGMSC}	121
4.11	Graf perbandingan penilaian prestasi untuk calon nilai ambang $th=0.85$	124
4.12	Imej perbandingan sebelum proses pengelasan piksel, $\alpha = 0.75$, $\alpha = 0.10$, $\alpha = 1.25$, $\alpha = 1.50$, $\alpha = 1.75$, $\alpha = 1.80$, dan imej kesahihan lapangan	127
4.13	Prestasi kejituan bagi penentuan pemberat bersesuaian	128
4.14	Imej akhir bagi sebahagian kawasan retina (a) imej binari (b) imej rantau 15 piksel (c) imej rantau 25 piksel (d) imej kesahihan lapangan	130
4.15	Perbezaan antara kaedah PTTB_KH dan kaedah PTTB_KMP menggunakan kernel 5×5 , 7×7 dan 9×9	131
4.16	Perbezaan antara kaedah PTTB_KH dan kaedah PTTB_KMP bagi keseluruhan imej retina	132
4.17	Perbezaan antara kaedah PTB_KP dan PTB_KMP bagi keseluruhan imej retina	133
4.18	Keputusan perbandingan antara kaedah PTTB_KMP dan kaedah PTB_KMP bagi keseluruhan imej retina (a) imej binari (b) imej keratan (c) imej kaedah PTTB_KMP (d) imej kaedah PTB_KMP	134
4.19	Segmentasi menggunakan kaedah pengesanan garis asas (a) imej dari pangkalan data DRIVE (b) antara dua salur darah utama (c) salur darah yang bercabang (d) antara dua salur darah yang rapat	135

4.20	Keputusan segmentasi pengesanan garis asas (a)-(c) input imej dari pangkalan data DRIVE, HRF dan STARE (d)-(f) imej tersegmen (g)-(h) imej kesahihan lapangan	136
4.21	Segmentasi menggunakan kaedah pengesanan garis multi-skala (a) imej dari pangkalan data DRIVE (b) antara dua salur darah utama (c) salur darah yang bercabang (d) antara dua salur darah yang rapat	137
4.22	Perbezaan antara imej bagi kaedah MS dengan imej kesahihan lapangan pada pangkalan data DRIVE, HRF dan STARE	138
4.23	Perbezaan bagi tiga bahagian bagi imej akhir(a) Kaedah MSMK_maksimum (b) MSMK_minimum (c) MSMK_purata (d) Imej kesahihan lapangan	139
4.24	Perbezaan bagi pangkalan data DRIVE, HRF dan STARE (a) Kaedah $MSMK_{max}$ (b) $MSMK_{min}$ (c) $MSMK_{avg}$ (d) Imej kesahihan lapangan	141
4.25	Imej pengesanan (a)(b) dan (c) Kaedah Kombinasi (Nguyen et al. 2013) (d)(e) dan (f) Kaedah PGMSP	142
4.26	Imej tersegmen menggunakan kaedah PGMSP bagi pangkalan data DRIVE (a) sampel kelas latihan (b) sampel kelas ujian	143
4.27	Imej tersegmen menggunakan kaedah PGMSP bagi pangkalan data HRF (a) sampel kelas sihat (b) sampel kelas glaukoma (c) sampel kelas diabetes retinopati	144
4.28	Imej tersegmen menggunakan kaedah PGMSP bagi pangkalan data STARE	144
4.29	Keputusan perbandingan pengesanan salur darah antara kaedah PGMSC_RK dan PGMSC_gabungan_KMP dengan imej kesahihan lapangan pada pangkalan data DRIVE, HRF dan STARE	146
4.30	Keputusan perbandingan pengesanan salur darah antara kaedah PGMSC_RK dan PGMSC_gabungan_KMP bagi pangkalan data DRIVE (a)-(c) Sampel bagi keratan rentas pada 1 (d)-(f) Sampel bagi keratan rentas pada 2 (g)-(i) Sampel bagi keratan rentas pada 3	147
4.31	Keputusan perbandingan pengesanan salur darah antara kaedah PGMSC_RK dan PGMSC_gabungan_KMP bagi pangkalan data HRF (a)-(c) Sampel bagi keratan rentas pada 1 (d)-(f) Sampel bagi keratan rentas pada 2 (g)-(i) Sampel bagi keratan rentas pada 3	148

4.32	Keputusan perbandingan pengesanan salur darah antara kaedah PGMSC_RK dan PGMSC_gabungan_KMP bagi pangkalan data STARE (a)-(c) Sampel bagi keratan rentas pada 1 (d)-(f) Sampel bagi keratan rentas pada 2 (g)-(i) Sampel bagi keratan rentas pada 3	150
4.33	Graf perbandingan antara pangkalan data	158



SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
2.1	Jadual perbandingan antara kaedah pendekatan pemprosesan imej digital retina	35
3.1	Perincian antara pangkalan data STARE, DRIVE dan HRF	45
3.2	Perbezaan antara nilai keamatan pengesanan, purata, sisihan piawai dan penormalan bagi komponen R, G dan B	66
3.3	Jadual Pasangan (P) merujuk pada garis (S) untuk 8 sudut	79
3.4	Jadual Pasangan (P) merujuk pada garis (S) untuk 16 sudut	79
4.1	Penilaian prestasi MSE dan PSNR bagi pangkalan data DRIVE, HRF dan STARE untuk kaedah I_{ppp} dan kaedah I_{comp}	115
4.2	Penilaian prestasi untuk nilai ambang, $th=0.56$	123
4.3	Penilaian prestasi untuk nilai ambang, $th=0.85$	125
4.4	Penilaian prestasi untuk nilai heuristik, $th=0.85$	125
4.5	Penilaian pengesanan salur darah retina pada pangkalan data DRIVE	152
4.6	Penilaian pengesanan salur darah retina pada pangkalan data HRF	153
4.7	Penilaian pengesanan salur darah retina pada pangkalan data STARE	155
4.8	Penilaian pengesanan salur darah retina	156
4.9	Perbandingan antara pangkalan data	157

SENARAI SINGKATAN

OCT	Optik Koheren Tomografi
WHO	Pertubuhan Kesihatan Sedunia
IAPB	Agensi Kebangsaan Pencegahan Buta
DRIVE	<i>Digital Retinal Images for Vessel Extraction</i>
STARE	<i>Structured Analysis of the Retina</i>
HRF	<i>High Resolution Fundus</i>
PPP	<i>Pre Processing Phase</i>
COMP	<i>Complement</i>
MS	Multi-skala
MSMK	Multi-skala Multi-komponen
PGMSP	Kaedah Pengesanan Gabungan Multi-skala dan I_{ppp}
PGMSC	Kaedah Pengesanan Gabungan Multi-skala dan I_{comp}
RK	Rantau Kecil
KMP	Kaedah Maklumat Pikel
PTTB_KH	Penyingkiran Titik Tidak Berkepentingan Berdasarkan Kaedah Hakisan
PTTB_KMP	Penyingkiran Titik Tidak Berkepentingan Berdasarkan Kaedah Maklumat Pikel
PTB_KP	Penggabungan Titik Berkepentingan Berdasarkan Kaedah Pengembangan
PTB_KMP	Penggabungan Titik Berkepentingan Berdasarkan Kaedah Maklumat Pikel
SPH	Sudut pengagihan histogram
TP	Positif Benar
FP	Positif Palsu
FN	Negatif Palsu
TN	Negatif Benar
RGB	<i>Red Green Blue</i>

H	<i>Hue</i>
S	<i>Saturation</i>
I	<i>Intensity</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
Sp	Ketentuan
Se	Kepekaan
Er	Kadar ralat
Pr	Kepersisan
Max	Maksimum
Avg	Purata
MSE	<i>Mean Squared Error</i>
PSNR	<i>Peak signal-to-noise ratio</i>
HSI	<i>Hue Saturation Intensity</i>
CNR	<i>Contrast-to-noise ratio</i>
R	Tindak balas
W	Lebar
L	Panjang
Th	Nilai ambang
Ac	Ketepatan
TPR	Kadar Positif Benar
FPR	Kadar Positif Palsu

SENARAI TERJEMAHAN

Transformasi Top-hat	Top-hat transformation
Nisbah Cangkir-ke-Cakera	Cup-to-Disc Ratio
Pengelasan Piksel	Binarization
Penormalan	Standardization
Aras Kelabu	Gray Level
Cakera Optik	Optic Disc
Data Latihan	Training Data
Data Ujian	Testing Data
Multi-skala	Multiscale
Pengembangan	Dilation
Hakisan	Erosion
Eksudat	Exudates
Keamatan	Intensity
Kesahihan Benar	Ground Truth
Penuras	Filter
Purata	Mean
Salur Darah	Blood Vessel
Optik Kekoherenan Tomografi	Optical Coherence Tomography

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

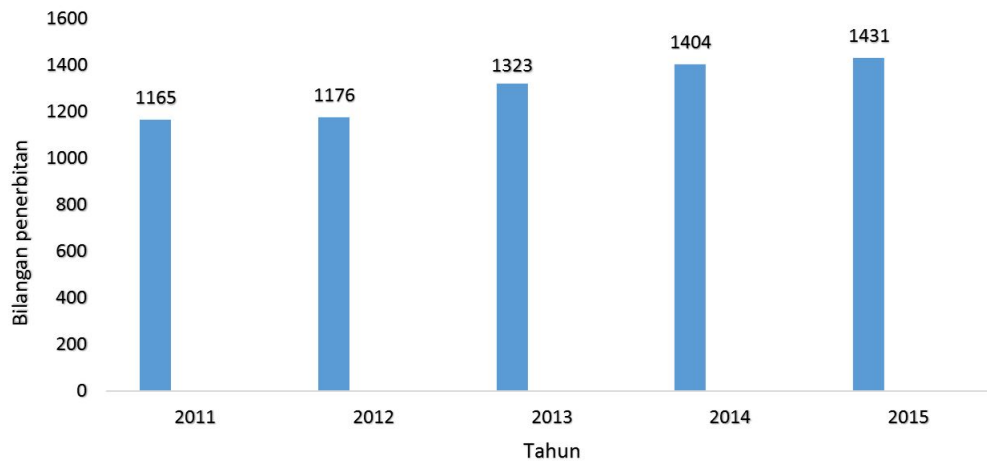
Mata ialah organ yang paling penting meskipun bersaiz kecil. Bagi menghasilkan penglihatan yang jelas, kesemua struktur dalam mata harus berfungsi dengan baik untuk membiaskan cahaya, memfokuskan, dan menyampaikan isyarat kembali ke otak untuk merangsang deria dan mencipta visual. Oleh itu, rangkaian struktur mata dan penglihatan merupakan antara sistem organ yang paling kompleks pada tubuh manusia. Manusia mempunyai dua biji mata berbentuk sfera dan sedikit menonjol dan terletak dalam soket tengkorak dengan diameter bola mata bersamaan 24mm. Struktur mata manusia terdiri daripada tiga lapisan tisu di dalam dinding mata (Remington 2012). Lapisan luar terdiri daripada sklera dan kornea, manakala lapisan tengah bersifat vaskular yang terdiri daripada koroid, jasad, siliari, dan iris. Seterusnya, lapisan paling dalam dikenali sebagai retina.

Retina merupakan lapisan tisu peka cahaya pada bahagian permukaan dalam mata yang mengandungi sel fotoreseptor. Terdapat dua jenis sel fotoreseptor iaitu rod dan kon yang bertanggungjawab mengesan dan bertindak balas kepada cahaya. Retina boleh dilihat dari luar dengan menggunakan teknik yang betul iaitu pemerhatian tidak invasif (Kelkar & Khan 2013). Teknik pemerhatian tidak invasif merupakan prosedur perubatan yang tidak memerlukan sebarang insisi iaitu hirisan pada tisu, menjadikan teknik ini selamat untuk dilakukan. Antara kebaikan menggunakan analisis pengkomputeran imej retina ialah prosedur penangkapan imej lebih mudah untuk dikendalikan. Namun demikian, jika dibandingkan dengan pengesan imej lain seperti pengesanan penyakit buah pinggang, ia perlu melalui proses ujian darah, air kencing, pemeriksaan sinar-X,

atau imbasan dan proses biopsi buah pinggang (www.kidney.org). Oleh yang demikian, ujian ini memerlukan kos kewangan yang tinggi.

Sistem pengimejan digital telah semakin berkembang dan menawarkan penyimpanan imej digital pada nilai resolusi yang tinggi (Van Leeuwen et al. 2003; Klein et al. 2004b; Facey et al. 2002). Pengimejan digital ini memudahkan penyimpanan data demi menjaga kualiti dan masa imej tersebut. Ia boleh digunakan secara meluas dalam pelbagai bidang seperti perubatan dan pengawasan. Peningkatan imej jenis ini sesuai untuk diaplikasikan ke dalam sistem berskala besar. Imej ini juga boleh diperbaiki atau menjadi subjek analisa teknik tertentu untuk mencapai objektif dari segi kuantitatif dan kualitatif. Oleh kerana imej pemprosesan perubatan merupakan bidang kajian yang kian mendapat perhatian utama, maka kajian berdasarkan imej perubatan ini berfokuskan kepada ketepatan model untuk struktur anatomi.

Imej retina juga dikenali sebagai fundus ataupun imej okular yang diperoleh dengan mengambil gambar pada bahagian belakang mata (Akram et al. 2009). Ia telah digunakan secara meluas untuk memberikan maklumat penting dalam pemprosesan imej oftalmologi. Oleh kerana kedudukan retina terletak di bahagian dalam, maka kamera fundus diperlukan untuk mendapatkan imej pada retina. Ini dikenali sebagai imej fundus retina. Kamera fundus tersebut mampu merakam struktur utama pada retina yang terdiri daripada rangkaian salur darah, cakera optik, makula, dan fovea. Imej fundus ini diperoleh daripada fotografi khusus untuk optik (Rahebi & Hardalac 2014). Perubahan pada salur darah retina mampu dikesan melalui imej fundus tersebut. Semakin perubahan pada perkembangan lebar salur darah dalam tempoh tertentu akan memudahkan doktor untuk mengenal pasti penyakit yang berkaitan. Oleh yang demikian, kajian berkaitan imej retina telah menunjukkan peningkatan pada setiap tahun dengan merujuk pada Rajah 1.1. Antara kelebihan imej retina dalam bidang perubatan ialah memudahkan proses saringan penyakit diabetes, pengesanan, dan perkembangan penyakit kardiovaskular. Ia juga mampu membantu proses pembedahan laser mata secara automatik dan digunakan secara meluas dalam aplikasi biometrik.



Rajah 1.1 Statistik kajian berkaitan imej retina

Sumber: <https://www.scopus.com>

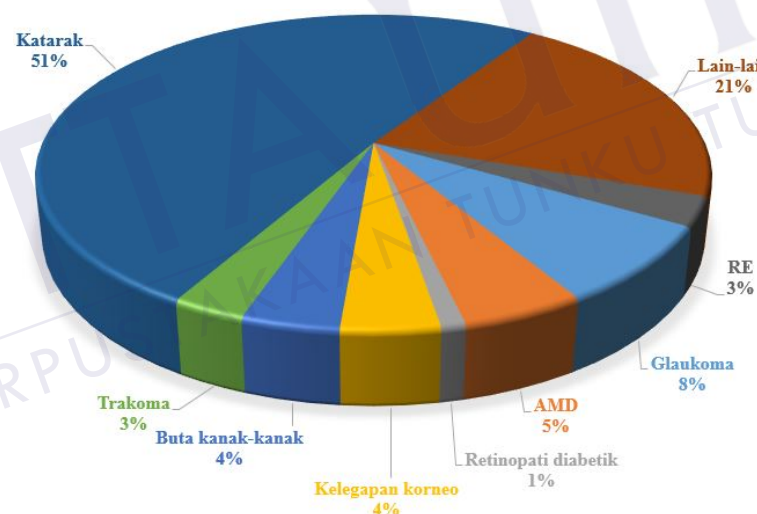
1.2 PENYATAAN MASALAH

Perubahan pada struktur retina boleh mengancam penglihatan manusia. Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO) dengan kerjasama Agensi Kebangsaan Pencegahan Buta (IAPB) melaporkan bahawa glaukoma dan retinopati diabetik menyumbang sebanyak 8% dan 1% daripada jumlah keseluruhan penyakit mata (WHO 2006; Pascolini & Mariotti 2012) seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1.2. Visi 2020 turut melaporkan bahawa pesakit berumur 50 tahun ke atas merupakan populasi tertinggi yang mengalami kerosakan mata.

Dalam hal ini, Kementerian Kesihatan Malaysia telah melancarkan program yang dinamakan Bancian Mata Kebangsaan 2014 (www.crc.gov.my/nes2). Program yang dijalankan buat kali kedua ini merupakan sebahagian daripada komitmen negara ke arah melaksanakan Pelan Tindakan Global WHO untuk Program Pencegahan Buta dan Kemerosotan Visual 2014-2019. Program ini melibatkan doktor dan jururawat mata yang melakukan bancian dari rumah ke rumah secara rawak. Sepanjang program dijalankan, proses temu ramah dan pemeriksaan memfokuskan kepada penduduk yang berumur 50 tahun ke atas.

Merujuk pada analisis kedua-dua statistik berkenaan, individu berumur 50 tahun ke atas merupakan kelompok paling berisiko untuk mengalami kerosakan mata.

Namun begitu, ujian-ujian klinikal yang sedia ada hanya dijalankan secara manual dan memerlukan penambahbaikan. Pemeriksaan secara manual sesuai dilaksanakan dalam skala yang kecil berikutan kekangan bilangan pakar yang terlibat (Szpak & Tapamo 2007). Walau bagaimanapun, bilangan pesakit berkemungkinan meningkat terutamanya di kawasan pusat tumpuan orang ramai. Dalam hal ini, pengesanan automatik salur darah retina adalah wajar dan penting dalam melancarkan sistem saringan untuk pesakit yang berpenyakit sebelum merujuk kepada pakar oftalmologi. Pemeriksaan pada skala yang besar boleh dikendalikan tanpa menjejaskan kualiti pemeriksaan, malahan boleh dijalankan oleh bukan pakar untuk mempercepatkan proses (Fraz et al. 2012a). Ia sesuai dikendalikan di kawasan-kawasan luar bandar untuk proses saringan sebelum merujuk kepada pakar untuk kes-kes berpenyakit. Ini memberi ruang kepada pakar oftalmologi untuk memfokuskan kepada pesakit yang memerlukan lebih perhatian (Kauppi 2010).



Rajah 1.2 Statistik buta peringkat dunia berpunca dari penyakit mata

Sumber: Pascolini & Mariotti 2012

Selaras dengan usaha memanfaatkan teknologi berkomputer, kajian ini memfokuskan kepada penggunaan teknologi sistem penglihatan dalam menangani masalah mengesan imej retina secara manual. Pengesanan secara manual pada salur darah retina adalah sukar disebabkan struktur rangkaian salur darah yang kompleks (You et al. 2011). Penanda aras keberkesanan pengesanan automatik salur darah retina merupakan kemampuan menghasilkan keputusan akhir yang hampir sama atau lebih baik daripada imej manual pelabelan yang dihasilkan oleh pakar. Jika penelitian dibuat

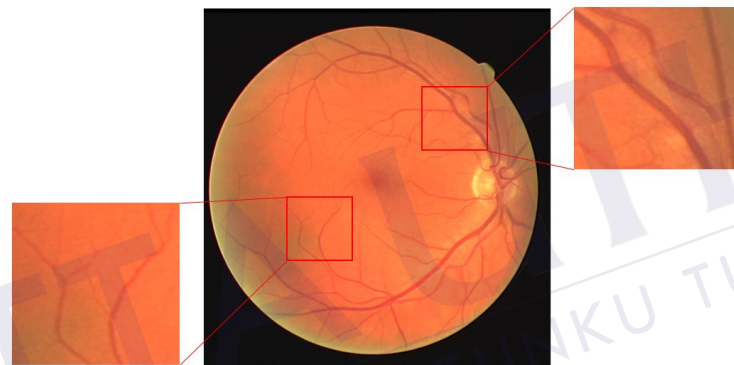
dengan lebih mendalam, salur darah retina mempunyai struktur yang unik, berbeza antara satu sama lain, dan mampu memberikan identifikasi kepada pengesanan pelbagai penyakit. Antara penyakit yang dapat dikesan hasil perubahan rangkaian salur darah retina adalah seperti diabetik retinopati, glaukoma, tekanan darah tinggi, penyakit kardiovaskular, dan strok (Fang et al. 2003). Penyakit-penyakit tersebut dikesan melalui perubahan pada salur darah seperti corak, percabangan, dan pantulan (You et al. 2011). Sebagai contoh, tekanan darah tinggi dapat dilihat daripada perubahan sudut percabangan dan liku-liku pada salur darah (Klein et al. 2004a). Manakala penyakit diabetik retinopati dapat dikesan apabila terdapat percambahan salur darah baru. Oleh yang demikian, jika ia tidak dirawat daripada awal, keadaan ini boleh menyebabkan kerosakan pada penglihatan yang secara tidak langsung memberi kesan yang lebih teruk iaitu buta (Sb & Singh 2012). Pendedahan dan pendekatan awal berkenaan perubahan pada salur darah ini penting sebagai langkah pencegahan dan membendung kehilangan penglihatan utama.

Kajian ini memberi bertumpu kepada menyediakan maklumat mengenai keseluruhan struktur salur darah retina kerana terdapat beberapa faktor kesukaran pengesanan bagi mendapatkan keseluruhan rangkaian salur darah retina terutamanya pada hujung salur darah dan salur darah yang berdekatan antara satu dengan yang lain. Kesukaran dan cabaran yang dihadapi adalah seperti berikut:

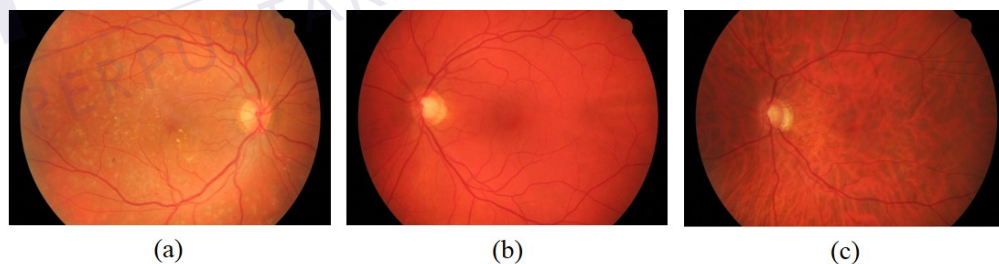
1. **Variasi Lebar Salur Darah.** Salur darah mempunyai variasi lebar dan panjang yang berbeza, bercabang, dan bersilang (Mirsharif et al. 2013). Ini kerana salur darah utama iaitu arteri mempunyai lebar yang besar berbanding vena yang merujuk kepada salur darah dengan kelebaran yang kecil dan berwarna cerah seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1.3.
2. **Kepelbagaian struktur.** Pelbagai struktur terdapat pada imej retina seperti cakera optik, fovea, dan makula yang terdapat pada imej retina sihat. Jika imej retina tersebut merupakan imej retina tidak sihat, perubahan imej retina dengan penambahan struktur lain seperti eksudat dan pendarahan mampu mengganggu prestasi segmentasi salur darah secara automatik. Rajah 1.4 menunjukkan perbezaan imej yang terdiri daripada imej fundus sihat, diabetik retinopati, dan

glaukoma daripada pangkalan data HRF.

3. **Keadaan Pencahayaan dan Latar belakang.** Penghujung salur darah yang kecil dan sempit menghasilkan kontras yang rendah dalam imej fundus dan berpotensi untuk hilang ketika proses pemprosesan dijalankan. Namun demikian, salur darah yang halus tersebut adalah penting untuk proses analisis dalam imej perubatan (You et al. 2011). Selain itu, kawasan lingkaran cakera optik yang terlalu terang berbanding kawasan fovea yang sangat gelap akan terhasil dalam satu imej retina yang sama. Faktor variasi illuminasi juga tidak boleh diabaikan. Kepelbagaian pencahayaan imej fundus retina terhasil daripada imej-imej fundus yang diambil menggunakan kamera yang berbeza.



Rajah 1.3 Perbezaan salur darah pada imej retina



Rajah 1.4 Imej fundus (a) normal (b) diabetik retinopati (c) glaukoma

Berdasarkan permasalahan yang telah dibincangkan, terdapat beberapa persoalan yang timbul iaitu:

1. Apakah tahap ketepatan kaedah segmentasi yang dipilih untuk mendapatkan saluran darah dalam imej fundus?
2. Adakah segmentasi automatik salur darah boleh dipercayai berbanding dengan imej segmen manual oleh pakar?

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Berdasarkan latar belakang dan pernyataan masalah kajian yang telah dibuat, objektif utama kajian ini adalah untuk membangunkan kaedah pemprosesan imej yang berupaya mengesan salur darah retina dengan lebih tepat. Dalam kajian ini, pengesanan variasi lebar salur darah yang tepat adalah penting. Struktur lain dalam imej juga menjadikan proses imej tersebut sedikit sukar dan mencabar. Oleh itu, pembangunan kaedah segmentasi yang berkesan menjadi tumpuan utama kajian ini. Bagi mencapai objektif utama tersebut, beberapa sub-objektif telah dijalankan dan dikenal pasti seperti berikut:

1. Melaksanakan kaedah pra-pemprosesan untuk mengurangkan hingar dan mengekalkan maklumat imej salur darah retina.
2. Membangunkan kaedah segmentasi salur darah retina yang sesuai bagi mendapatkan pengesanan pada rangkaian salur darah.
3. Membangunkan kaedah pasca pemprosesan sebagai penuras piksel berkepentingan yang sesuai untuk salur darah retina.

1.4 SKOP KAJIAN

Skop kajian penyelidikan ini terdiri daripada tiga pangkalan data atas talian sedia ada tanpa melibatkan pesakit secara langsung iaitu (i) pangkalan data DRIVE (Staal et al. 2005), (ii) HRF (Odstreilik et al. 2013), dan (iii) STARE (Hoover & Goldbaum 2003) yang terkenal sebagai bahan rujukan para penyelidik bagi imej fundus retina. Pangkalan data ini dibangunkan hasil kerjasama antara pakar dalam pelbagai bidang seperti komputer sains dan perubatan kerana imej yang dihasilkan akan melalui ujian pemeriksaan pakar mata kepada pesakit. Seterusnya, imej kesahihan lapangan akan dilakukan oleh pakar dalam bidang komputer sains sebelum disahkan kembali oleh pakar mata sama ada imej tersebut ialah normal atau tidak normal. Imej kesahihan lapangan ini dilakukan secara manual oleh pakar bagi melancarkan proses perbandingan sistem yang dibangunkan.

Imej fundus retina ini juga dirakam menggunakan kamera fundus yang berlainan bagi ketiga-tiga pangkalan data. Ia menghasilkan resolusi dan saiz imej yang berbeza setiap satunya. Selain itu, imej fundus retina daripada ketiga-tiga pangkalan data terdiri daripada imej normal dan abnormal. Imej abnormal diklasifikasikan kepada penyakit glaukoma dan diabetes retinopati.

Skop kajian juga dihadkan kepada pembangunan kaedah pengesanan automatik salur darah retina bagi imej digital fundus untuk rangkaian salur darah retina yang bermula dari kawasan lingkaran cakera optik sehingga ke penghujung salur darah. Ia tidak melibatkan sebarang pengelasan kepada penyakit yang berkaitan dengan mata. Namun demikian, algoritma yang dibangunkan ini juga diuji pada imej abnormal seperti glaukoma dan diabetes retinopati untuk melihat keberkesanan algoritma tersebut. Kajian ini melibatkan pembangunan tiga fasa pemprosesan imej iaitu fasa pra-pemprosesan, fasa segmentasi, dan fasa pasca pemprosesan.

1.5 ORGANISASI TESIS

Tesis ini mengandungi lima bab keseluruhannya. Bab I menerangkan secara umum tentang latar belakang, pernyataan masalah, objektif, dan skop penyelidikan. Bab II pula membentangkan kajian kepustakaan pengesanan salur darah retina pada imej retina berwarna secara umum. Seterusnya, Bab III memfokuskan kepada kaedah penyelidikan kajian yang melibatkan pembangunan algoritma pada setiap bahagian yang dibangunkan. Selain itu, perbezaan bagi setiap kaedah juga diterangkan pada bab ini. Hasil keputusan kajian merujuk kepada beberapa kaedah pengesanan automatik salur darah retina untuk imej digital fundus pada salur darah retina. Setiap keputusan dibincangkan secara analitis dan kritikal dalam Bab IV. Seterusnya, hasil perubahan atau peningkatan pada setiap bahagian pemprosesan juga disertakan. Tesis ini diakhiri dengan Bab V yang merumuskan hasil dan sumbangan kajian serta mencadangkan beberapa perkara bagi penambahbaikan kajian pada masa hadapan.

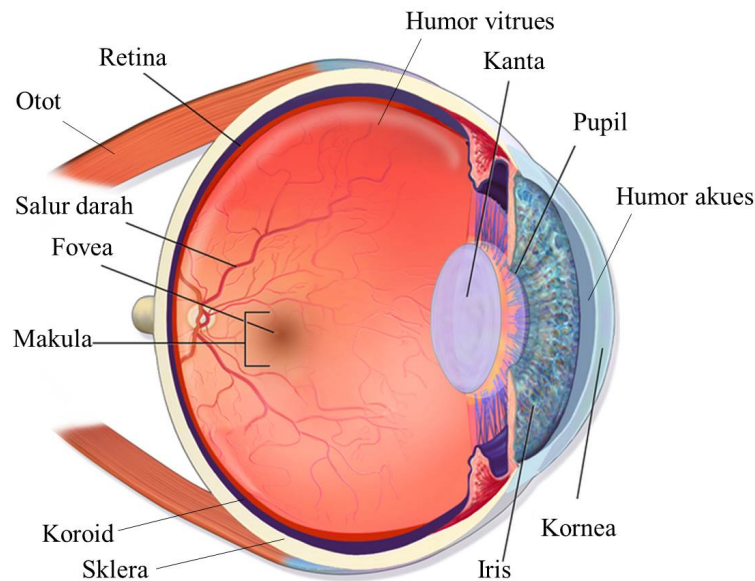
BAB II

KAJIAN KEPUSTAKAAN

Bab ini membentangkan hasil kajian kepustakaan tentang segmentasi salur darah retina secara automatik melalui kaedah pemprosesan imej. Ia dimulakan dengan pemahaman berkaitan anatomi mata dan retina. Seterusnya, bab ini menjelaskan tentang perbandingan antara imej retina sihat dan retinopati yang dapat dikesan bagi mendiagnosis sebarang perubahan yang terjadi pada struktur imej retina. Di akhir bab ini, sorotan berkaitan kaedah-kaedah terdahulu yang digunakan dalam pembangunan sistem segmentasi salur darah retina secara automatik turut dibincangkan. Oleh itu, hasil kajian kepustakaan penyelidikan terdahulu dijadikan rujukan dan asas kepada penambahbaikan kaedah yang dicadangkan dalam kajian ini.

2.1 STRUKTUR UTAMA

Mata manusia berfungsi untuk memberi deria penglihatan dengan membenarkan manusia memerhatikan dan mempelajari lebih lanjut tentang suasana persekitaran. Kebolehan tersebut merupakan kelebihan yang ada berbanding deria-deria lain kerana mata terletak pada bahagian hadapan separuh orbit yang dikelilingi lemak dan tisu perantara dan disokong oleh struktur muka. Kedua-dua mata terletak pada rongga bertulang dan bersebelahan sisi hidung (Ronald & Khaw 2003). Sementara itu, terdapat enam bahagian utama pada mata iaitu kornea, iris, kanta, humor akues, humor vitruus, dan sklera seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.1. Retina pula merupakan komponen mata pertama yang terlibat dalam proses penglihatan dan merupakan lapisan yang amat sensitif serta peka kepada pencahayaan yang memasuki mata.



Rajah 2.1 Struktur anatomi mata

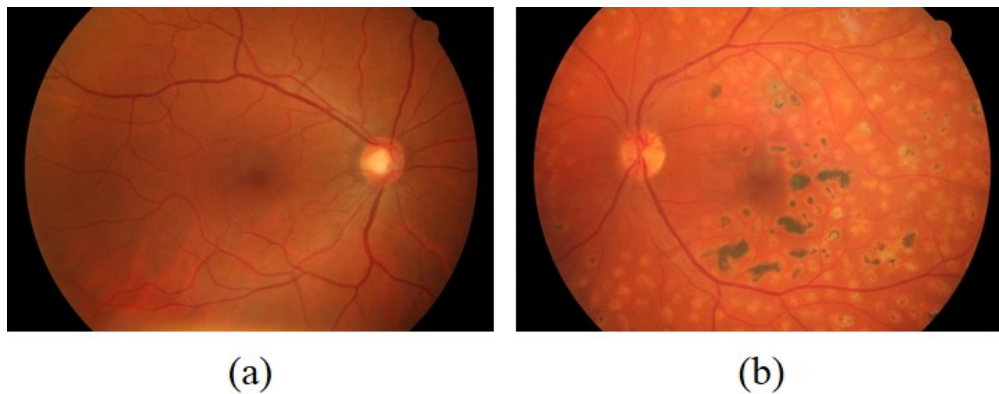
Sumber: BruceBlaus 2014

2.1.1 Retina

Retina juga dikenali sebagai bahagian paling kompleks dalam tubuh manusia. Ia merupakan lapisan dalaman bahagian mata yang mempunyai cahaya sensitif yang menerima imej yang terbentuk oleh kanta dan dihantar kepada saraf optik ke otak. Imej fundus retina boleh dijelaskan sebagai lapisan dalaman pada bola mata yang terdiri daripada cakera optik, makula, fovea, dan vaskular salur darah retina yang merupakan bahagian dalaman mata. Ia boleh dilihat melalui pemeriksaan mata melalui anak mata. Oleh itu, imej retina ini mampu memberikan maklumat yang penting tentang kesihatan mata.

Jika diteliti dengan lebih mendalam, rangkaian salur darah dan struktur lain pada retina merupakan penunjuk yang baik untuk menyaring dan mengenal pasti pelbagai penyakit. Oleh itu, pengestrakan salur darah ialah modul yang penting, khususnya untuk mendapatkan pengesanan salur darah yang mempunyai ciri-ciri seperti persimpangan, persilangan, dan variasi lebar. Salur darah juga mempunyai struktur yang unik dan berbeza-beza yang mampu memberikan pengesanan kepada pengesanan pelbagai penyakit. Di samping itu, maklumat mengenai keadaan salur darah pada retina adalah berguna dalam memantau perkembangan penyakit secara

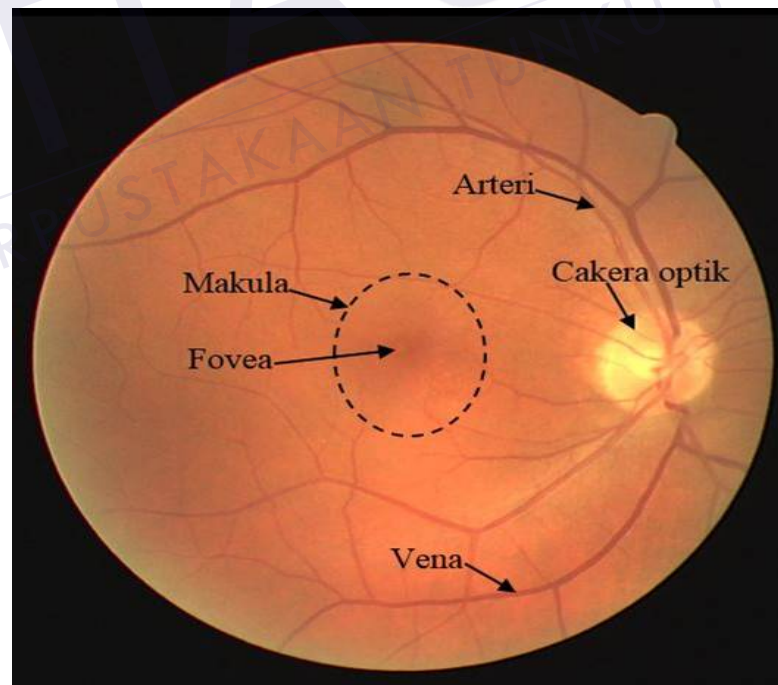
cepat dan optimum. Rajah 2.2 menunjukkan dua sampel imej yang mempamerkan imej normal dan tidak normal yang boleh dikesan menggunakan imej retina.



Rajah 2.2 Imej retina (a) normal (b) tidak normal

Sumber: Odstrcilik et al. 2013

Terdapat tiga komponen utama pada imej retina normal yang terdiri daripada cakera optik, makula, dan salur darah utama yang terdiri daripada arteri dan vena. Rajah 2.3 menunjukkan setiap komponen utama tersebut dalam imej retina.



Rajah 2.3 Kedudukan cakera optik pada retina

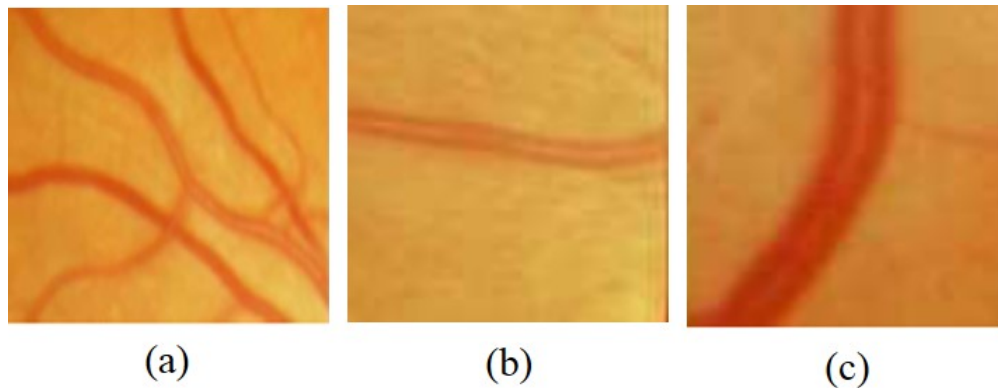
2.1.2 Salur Darah

Salur darah ialah corak berterusan dengan sedikit kelengkungan kecil yang berasal daripada cakera optik dan mempunyai bentuk yang bercabang. Purata diameter salur darah pula adalah kira-kira 100 mikrometer (Sb & Singh 2012). Terdapat dua jenis salur darah iaitu arteri dan vena. Arteri berfungsi membawa darah segar daripada jantung dan paru-paru ke mata manakala vena berfungsi mengambil darah yang telah digunakan oleh mata dan dikembalikan ke paru-paru dan jantung semula (Snell & Lemp 1998).

Sementara itu, saiz arteri adalah sedikit kecil berbanding vena dengan nisbah 3:4. Arteri berwarna merah terang dan vena berwarna merah gelap. Arteri mempunyai dinding tebal yang memantulkan cahaya sebagai pusat refleks berkilat. Kedua-dua dinding arteri dan vena adalah telus bagi memudahkan pemerhatian pada pergerakan salur darah. Kebiasaannya, arteri akan bersilang dengan vena pada kawasan permukaan, namun ia tidak akan terkumpul atau termampat pada bahagian persilangan vena tersebut. Tambahan pula, percabangan pada salur darah juga berbeza-beza. Oleh itu, keupayaan membezakan antara arteri dan vena mampu memberikan manfaat yang besar dalam bidang aplikasi perubatan kerana simptom kepada pelbagai jenis penyakit boleh diperolehi melalui nisbah yang tidak normal bagi saiz arteri kepada vena. Sebagai contoh, penyakit diabetes merujuk kepada pelebaran tidak normal pada vena. Maka, untuk mengesan penyakit tersebut, retina perlu melalui rutin pemeriksaan.

Menurut Maheswari & Anandhi (2014), terdapat empat perbezaan penting yang ketara antara arteri dan vena, iaitu vena lebih gelap berbanding arteri yang berwarna cerah, bentuk arteri lebih nipis daripada vena dan berada bersebelahan dengan vena, dan refleks pusat pada arteri lebih lebar manakala vena mempunyai refleks pusat yang kecil; dan (iv) pada kedudukan berdekatan cakera optik, arteri dan vena biasanya melingkari antara satu sama lain sebelum memperluaskan jaringan kerana salur vena berada di sebelah dua saluran arteri pada kawasan cakera optik. Rajah 2.4 menunjukkan perbezaan tersebut.

Pencirian tersebut selalu digunakan untuk mendapatkan maklumat yang cukup dalam mengklasifikasikan salur darah sebagai arteri dan vena. Walau bagaimanapun,



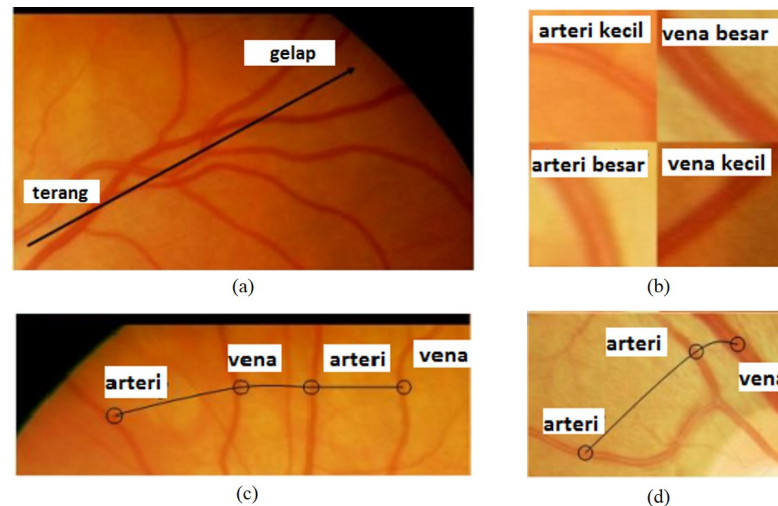
Rajah 2.4 Perbezaan antara arteri dan vena (a) kehadiran refleks pusat pada salur darah yang mengandungi arteri dan vena (b) Salur darah diwakili oleh arteri (c) Salur darah diwakili oleh vena

Sumber: Kondermann et al. 2007

terdapat beberapa kekurangan yang perlu diambil kira, antaranya kualiti imej yang kurang baik. Ini merujuk kepada kawasan luar imej yang menyebabkan refleks pusat telah hilang seperti pada Rajah 2.5 (a). Sementara itu, salur darah pada kawasan luar terlalu gelap disebabkan oleh kesan pencahayaan tidak homogen pada imej. Ini menyebabkan arteri dan vena kelihatan hampir sama seperti Rajah 2.5 (b), lalu menyebabkan kesilapan pengelasan antara arteri dan vena. Selanjutnya, lebar salur darah tidak sesuai untuk pengelasan kerana ia akan berubah menjadi paling lebar apabila berhampiran cakera optik, namun paling kecil pada bahagian luar imej. Perubahan tersebut ditunjukkan pada Rajah 2.5(c). Akhir sekali, persilangan antara arteri dan vena berlaku pada salur darah yang paling hampir dengan cakera optik. Kedua-dua salur darah sepatutnya berada bersebelahan antara satu sama lain apabila kedua-dua jenis salur darah ini memulakan percabangan. Oleh itu, Rajah 2.5 (d) menunjukkan kedudukan vena yang tidak berselang antara dua arteri.

2.1.3 Cakera Optik

Cakera optik berbentuk bulat dengan diameter antara 1.5 ke 2 mm (Sb & Singh 2012) yang merupakan pintu masuk bagi saraf optik dan salur darah untuk memasuki mata. Disebabkan cakera optik tidak mengandungi fotoreseptor pengesanan, maka ia tidak boleh bertindak balas terhadap cahaya. Oleh itu, ia juga dipanggil sebagai titik buta. Selain



Rajah 2.5 Kekeliruan dalam membandingkan arteri dan vena (a) pada kawasan luar imej salur darah adalah lebih gelap dan refleks pusat tidak dapat dilihat lagi (b) perbezaan saiz bagi salur darah (c) empat contoh arteri dan vena yang sukar dibezakan pada hujung salur (d) persilangan antara arteri dan vena tidak tepat disebabkan oleh cabang arteri

Sumber: Kondermann et al. 2007

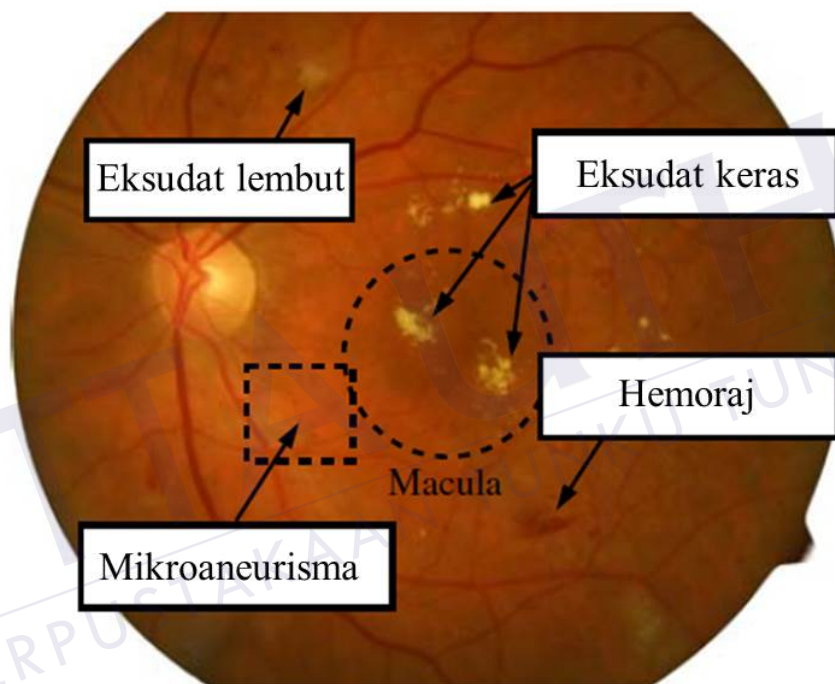
itu, cakera optik merupakan kawasan lingkaran yang kelihatan cerah dalam imej retina dan terdapat saraf sel visual. Semua saluran darah berkumpul dan berpusat dari kawasan tersebut. Seterusnya, ia berfungsi menghantar impuls elektrik dari retina ke otak.

2.1.4 Makula dan Fovea

Makula terletak di kawasan pusat retina dan terletak pada sebelah cakera optik dan sedikit ke bawah. Diameter makula adalah antara 4 mm hingga 5 mm (Sb & Singh 2012) yang seakan berbentuk bulat dan berwarna gelap. Ia juga merupakan kawasan yang tidak mempunyai salur darah dengan kontras yang rendah (Doris et al. 2001). Sementara itu, bahagian tengah makula ini dikenali sebagai fovea yang merujuk kepada kawasan berwarna merah gelap yang kecil seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.3 dan ia terdiri daripada berjuta fotoreseptor. Sel tersebut mampu memberikan penglihatan secara fokus dan tepat. Oleh itu, ia merujuk kepada bahagian daripada retina yang mempunyai ketajaman visual yang terbesar. Dianggarkan 50% daripada serat saraf dalam saraf optik membawa maklumat daripada fovea (Lauralee 2001).

2.2 IMEJ RETINA TIDAK NORMAL

Selain imej normal, imej tidak normal juga digunakan untuk menguji keberkesanan kaedah pengesanan automatik salur darah retina. Oleh itu, kehadiran struktur lain bagi keadaan imej normal ialah tanda-tanda penyakit. Struktur lain tersebut merujuk kepada pencirian fitur tidak normal yang hadir dalam imej retina. Menurut (Hayashi et al. 2001), fitur retina tidak sihat terdiri daripada eksudat, mikroaneurisma, dan hemoraj (pendarahan) seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.6.



Rajah 2.6 Sampel imej tidak normal untuk retina yang terdiri daripada eksudat, hemoraj dan mikroaneurisma

2.2.1 Mikroaneurisma

Mikroaneurisma merupakan tanda awal yang dapat diperhatikan dalam imej retina berkaitan ketaknormalan pada mata. Ia mungkin kelihatan secara berasingan atau dalam kelompok yang kecil, berbintik merah gelap, atau kelihatan seperti pendarahan kecil dalam retina sensitif cahaya yang diperlihatkan pada Rajah 2.6. Ia berlaku apabila terdapat kerosakan retina dan penyumbatan arteri. Selain itu, terdapat gelembung kecil

yang terhasil dalam salur darah retina yang disebabkan oleh kebocoran cecair. Julat saiz bagi mikroaneurisma adalah antara 10-100 mikron, iaitu kurang daripada 1/12 purata diameter bagi pusat cakera optik yang bulat dan sihat. Disebabkan bentuknya kecil, ia sukar untuk dibezakan dengan pendarahan.

2.2.2 Pendarahan

Pendarahan yang juga dikenali sebagai hemoraj berlaku apabila terdapat salur darah yang bocor dan terhasil disebabkan oleh mikroaneurisma yang pecah atau bahagian vaskular yang lemah (Liechty 2014). Pendarahan ini berlainan dengan mikroaneurisma kerana lebih besar dan tidak semestinya bulat. Terdapat tiga sebab utama berlakunya pendarahan vitreus, iaitu (i) kerosakan pada saluran darah normal; (ii) pertumbuhan saluran darah yang tidak normal; dan (iii) pendarahan daripada bahagian lain di mata. Pendarahan ini boleh menyebabkan tekanan darah yang tinggi, penyumbatan salur darah arteri, dan diabetes. Selain itu, terdapat pendarahan pada retina yang boleh menjejaskan penglihatan.

2.2.3 Eksudat

Eksudat ialah salah satu ciri bagi imej tidak normal retina yang terhasil apabila kolesterol atau lemak lain disimpan daripada darah yang telah bocor ke dalam retina dan merupakan kawasan yang berwarna terang kekuningan. Kehadiran eksudat pada imej retina merupakan salah satu ciri utama kepada penyakit diabetes edema makula. Tahap penyakit dapat ditentukan bergantung kepada perubahan saiz dan bentuk eksudat tersebut. Jika eksudat mula membentuk sekitar rantau makula yang berfungsi untuk memfokuskan pada penglihatan dan penglihatan lurus, ini akan menyebabkan masalah terhalangnya penglihatan dan akhirnya, penyakit edema makula menjurus kepada masalah buta (Schaefer & Leung 2007). Eksudat ini terbahagi kepada dua iaitu eksudat keras dan eksudat lembut (Zhang & Fan 2006). Eksudat keras merujuk kepada kawasan kecil yang berwarna putih dah putih kekuningan dengan pinggir tepi dan

margin yang tajam. Eksudat lembut pula mempunyai struktur bentuk bulat atau bujur yang berwarna putih atau kuning pucat dan mempunyai pinggir yang kurang jelas.

2.3 MODALITI PENGIMEJAN RETINA

Modaliti pengimejan retina ialah peluang untuk menilai potensi ketidaknormalan dan perubahan dalam salur darah sebagai penanda patologi (McGrory et al. 2017). Modaliti pengimejan retina mempunyai kepekaan dan sensitiviti yang tinggi (Pérez et al. 2012) yang lazimnya digunakan untuk menentukan tiga ciri-ciri retina iaitu retinopati, variasi lebar salur darah, dan perubahan dalam percabangan rangkaian salur darah (Cheung et al. 2012). Selain itu, output digital daripada sistem kamera ini mampu mendapatkan dan menentukan ciri-ciri penting pada retina dan rangkaian salur darah dengan peningkatan ketepatan dan kebolehpercayaan pemprosesan imej (Cheung et al. 2011).

Secara teknikalnya, imej retina sukar untuk diperoleh kerana retina terletak pada lapisan dalam di belakang mata. Namun begitu, imej retina telah digunakan secara meluas untuk memberikan maklumat penting dalam pemprosesan imej oftalmologi. Ada pelbagai kaedah pengimejan sedia ada yang digunakan untuk memeriksa mata pesakit. Pemilihan kaedah pengimejan bergantung kepada keperluan dalam penyelidikan perubatan dan ahli oftalmologi atau penyelidik boleh melakukan pemeriksaan pada perubahan dan isyarat penyakit berdasarkan imej yang telah diperoleh.

Terdapat beberapa kaedah pengimejan fundus pesakit yang telah digunakan, dan pemilihan ini bergantung kepada jenis patologi kajian. Imej fundus digital dan floressein angiografi (FA) ialah kaedah yang biasa digunakan untuk pengimejan salur darah retina. Imej FA yang digunakan bergantung kepada umur pesakit dan tindak balas fizikal kepadanya kerana ada kemungkinan reaksi alahan terhadap pesakit. Laporan kadar kematian melalui kaedah FA juga mencatatkan nisbah 1:222000 (Heneghan et al. 2002). Imej fundus warna pula ialah pengimejan yang biasa digunakan untuk kajian dalam populasi yang besar. Dalam hal ini, keunikan serta kelebihan dan kekurangan bagi setiap modaliti pengimejan perlu diketahui agar penyakit-penyakit yang berkaitan

dengan retina dapat dikenal pasti.

2.3.1 Fundus Retina

Mesin kamera pemerhatian dan penggambaran mata fundus ini terbahagi kepada dua, iaitu mesin untuk imej retina midriatik dan bukan midriatik. Mesin untuk imej retina midriatik memerlukan pengendali untuk proses titisan pendilatan ke atas pesakit bagi pengembangan retina. Ia sesuai bagi pesakit yang mempunyai nilai pupil atau anak mata yang kurang dan sama dengan 4mm. Mesin untuk imej retina bukan midriatik pula merupakan mesin yang biasa digunakan untuk mendapatkan imej fundus retina seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.7. Mesin jenis ini lebih kecil dan sesuai untuk tujuan sistem saringan. Namun begitu, antara kekurangan kamera bukan midriatik ini ialah dari segi kualiti dan sudut penglihatan yang kecil. Bagi mendiagnosis penyakit, kamera midriatik adalah yang paling sesuai dan tepat untuk digunakan.

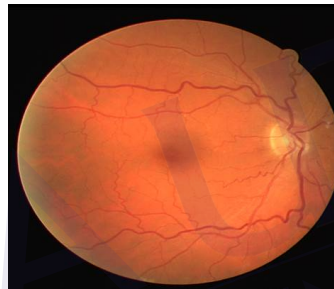


Rajah 2.7 Mesin fundus

Sumber: <https://www.topcon-medical.eu>

Imej fundus ialah imej yang sesuai sebagai modaliti diagnosis kerana ia boleh dipercayai, tidak invasif, dan mudah untuk digunakan. Ia merupakan salah satu modaliti pengimejan tidak invasif yang sesuai bagi imej digital fundus kerana mesin retina boleh didapati dengan meluas dan data yang diperolehi boleh disokong dan dianalisis oleh prosedur berbantu komputer (Ribeiro et al. 2011). Imej ini juga mampu merakam data diagnostik bagi kegunaan pakar dalam perundingan penyakit. Imej fundus yang dihasilkan juga mempunyai kadar sensitiviti yang tinggi dan mempunyai pengesanan yang baik untuk imej fundus yang mempunyai patologi (Hutchinson et al. 2000). Dalam hal ini, proses diagnosis penyakit menggunakan imej fundus

dipercepatkan dengan pengendalian mesin fundus yang memfailkan imej dalam format mudah alih. Rajah 2.8 memaparkan imej yang direkodkan menggunakan mesin fundus dan berwarna kemerahan. Terdapat tiga struktur utama yang dapat direkodkan pada imej fundus, iaitu cakera optik, makula, dan salur darah. Cakera optik kelihatan sebagai kawasan yang cerah dalam imej tersebut dan semua saluran darah terkumpul pada bahagian tersebut. Salur darah arteri pula lebih terang berbanding salur darah vena. Makula merupakan kawasan gelap dan hanya sedikit salur darah yang dikesan. Seterusnya, imej fundus dapat mengesan ciri-ciri klinikal seperti eksudat, hemoraj, salur darah abnormal, dan pigmentasi. Oleh itu, imej fundus kerap digunakan dalam program penyaringan, dan imej yang terhasil mampu dianalisis serta boleh digunakan untuk memantau kemajuan pelbagai penyakit.



Rajah 2.8 Imej imbasan fundus

Sumber: Staal et al. 2005

2.3.2 Fluoresein Angiografi (FA)

Pengimejan FA berbeza dengan fundus kerana ia merupakan kaedah invasif. Bagi mendapatkan pengimejan FA, prosedur perubatan iaitu penyuntikan pewarna dilakukan ke dalam aliran darah. Pewarna ini akan menyerlahkan salur darah tersebut agar kelihatan jelas pada imej. Pengimejan FA selalu digunakan untuk skala besar bagi pengimejan retina. Ia merupakan modaliti pengimejan yang penting kerana sifatnya yang mampu mengesan kebocoran atau susutan walau sedikit pada dinding salur darah retina. Kebiasaannya, FA digunakan untuk tujuan mendiagnosis dan kesimpulan dibuat berdasarkan kepada kewujudan hipofluoresein atau hiperfluoresein (Joussen et al. 2007). Rajah 2.9 menunjukkan antara mesin FA yang digunakan untuk analisis. Hipofluoresein berlaku sekiranya salur darah tersumbat serta terjadinya pendarahan

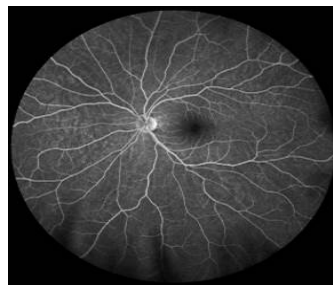
dan salur darah tersekat seperti kapilari tersumbat. Hiperfluoresein berlaku akibat kebocoran, pertumbuhan salur darah abnormal (neovaskular), pembentukan aneurisme, pewarnaan, dan masalah pemancaran.



Rajah 2.9 Mesin FA

Sumber: <https://www.healio.com>

Pewarna fluoresein digunakan dalam pergerakan aliran darah untuk pengimejan FA. Ia berfungsi untuk menunjukkan pergerakan darah, perfusi darah, dan kebocoran pada salur darah. Oleh itu, ia sesuai digunakan untuk menentukan perubahan dinamik seperti kerosakan pada aliran darah dan peredaran darah. Ia juga boleh menentukan pengumpulan salur darah pada bahagian oklusi dan jika selaras dengan masa, ia mampu mengesan anggaran aliran darah per unit pada masa yang sama. Pengimejan ini juga digunakan untuk menentukan keseimbangan cecair dalam peredaran yang tidak boleh didapati daripada teknik lain. Ini ditunjukkan pada Rajah 2.10. Namun begitu, kelemahan kaedah pengimejan ini terletak pada kemampuannya mengesan ketebalan retina.



Rajah 2.10 Imej imbasan FA

Sumber: Lu et al. 2017

2.3.3 Optik Koheren Tomografi (OCT)

Modaliti pengimejan OCT ini adalah berdasarkan pengimejan optik yang digunakan khusus untuk media optik merebak. Kaedah ini banyak digunakan bagi pengimejan 3D yang memberikan kualiti imej yang berkualiti dengan resolusi tinggi sehingga mikrometer (resolusi paksi: 1 hingga 15 mikrometer). Oleh sebab struktur pada retina bersaiz amat kecil, maka ia memerlukan sistem pengimejan resolusi tinggi untuk memperoleh kualiti imej yang diinginkan. Oleh itu, OCT biasanya digunakan dalam kaedah pengimejan diagnostik yang boleh dipercayai berdasarkan pengukuran geometri pada struktur retina, seperti ketebalan dalam edema makula (Trichonas & Kaiser 2014) dan glaukoma (Costa et al. 2006). Rajah 2.11 menunjukkan mesin OCT yang digunakan untuk menganalisis mata dan retina bagi pemeriksaan anterior dan posterior mata pada skala ruang yang terperinci.

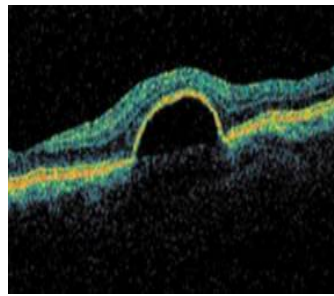


Rajah 2.11 Mesin OCT

Sumber: Rosenfeld et al. 2016

Imej imbasan yang diperoleh oleh mesin OCT berguna dalam mengenal pasti dan mengesan masalah atau penyakit retina yang tertentu menggunakan prinsip cahaya. Ia mampu mengesan perubahan dalam retina seperti kehadiran cecair, lubang, membran halus, dan bengkak. Ia juga digunakan untuk memantau perkembangan sebelum dan selepas pembedahan penyakit. Rajah 2.12 menunjukkan contoh imej tidak sihat yang merujuk kepada kehadiran pigmen epitelium yang dikesan menggunakan imej imbasan OCT. Antara kelebihan pengimejan OCT ialah ia mampu mendiagnosis penyakit seperti glaukoma (Bussel et al. 2014), edema makula (Trichonas & Kaiser 2014), dan degenerasi makula (Hata et al. 2012). Kaedah ini bukan sahaja mampu memantau fisiologi retina dalam bidang oftalmologi, malah ia juga boleh digunakan dalam pelbagai bidang seperti pemuliharaan seni dan kardiologi intervensi untuk membantu mendiagnosis penyakit

arteri koronari (Lin et al. 2014).



Rajah 2.12 Imej imbasan OCT

Sumber: Gramatikov 2014

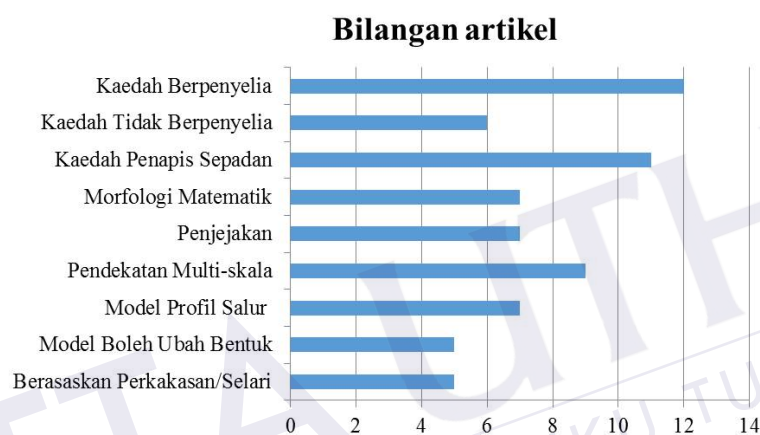
2.4 KAEDAH PEMROSESAN IMEJ DIGITAL

Bahagian ini membentangkan pelbagai kaedah pemprosesan imej digital yang menjadi asas dan inspirasi pembangunan kaedah pengesanan automatik salur darah retina. Penjelasan berkaitan penggunaannya secara umum serta pelaksanaan kaedah yang terlibat pada imej fundus retina berdasarkan penyelidikan terdahulu turut dikupas. Selain itu, kelemahan atau kekurangan kaedah sedia ada turut dibincangkan.

Kirbas, C. Quek (2004) mengkategorikan algoritma yang lazim digunakan bagi segmentasi salur darah kepada lima bahagian, iaitu pendekatan berasaskan pinggir dan rantau, teknik pengecaman corak, pendekatan berasaskan model, pendekatan berasaskan penjejakan, dan pendekatan berasaskan rangkaian neural. Menurut Patton et al. (2006) pula, empat teknik utama yang digunakan dalam proses segmentasi rangkaian salur darah terdiri daripada penapis sepadan, penjejakan salur darah, rangkaian neural, dan proses morfologi. Seterusnya, Fraz et al. (2012b) membahagikan algoritma segmentasi salur darah retina kepada enam kategori utama, iaitu teknik pengecaman corak, penapis sepadan, penjejakan, morfologi matematik, pendekatan multi-skala, dan pendekatan berasaskan model. Frekuensi taburan artikel bagi kaedah segmentasi salur darah diilustrasikan pada Rajah 2.13.

Terdapat sebanyak 69 kertas penerbitan daripada kajian terdahulu telah dipilih dan dikelaskan mengikut pecahan artikel yang dikaji bagi pendekatan segmentasi. Rajah 2.13 menunjukkan bahawa kaedah berpenyelia untuk mengelaskan piksel

merupakan artikel tertinggi dalam kajian kaedah segmentasi, iaitu 17%. Seterusnya, 9% untuk teknik pengecaman corak, dan 16% untuk teknik penapis sepadan. Kaedah berdasarkan penjejakan dan morfologi matematik pula masing-masing 10%, diikuti oleh artikel melalui pendekatan multi skala 13%, dan pendekatan berasaskan model 17%. Seterusnya, pendekatan berasaskan perkakasan selari ialah 7%. Oleh itu, empat pendekatan segmentasi yang mempunyai taburan artikel kajian yang tertinggi ialah kaedah berpenyelia, kaedah penuras sepadan, kaedah multi-skala, dan kaedah pemprosesan morfologi menjadi tunjang utama kepada kaedah kajian.



Rajah 2.13 Pengkategorian artikel kaedah segmentasi salur darah

Sumber: Fraz et al. 2012b

2.4.1 Kaedah Pendekatan Berpenyelia

Kaedah pendekatan berpenyelia perlu mematuhi peraturan dalam mengekstrak salur darah oleh algoritma berdasarkan satu set latihan yang diproses secara manual dan imej rujukan tersegmen atau dikenali sebagai kesahihan lapangan. Struktur rangkaian salur darah pada imej kesahihan lapangan telah ditandakan oleh pakar mata. Walau bagaimanapun, seperti dinyatakan oleh Hoover (2000), terdapat percanggahan penting dalam mengenal pasti salur darah dalam kalangan pemerhati pakar. Bagi kaedah pendekatan penyeliaan, kriteria klasifikasi ditentukan oleh data kesahihan lapangan berdasarkan ciri-ciri yang diberikan. Antara prasyaratnya ialah kesediaan data kesahihan lapangan yang diklasifikasikan berkemungkinan tidak tersedia pada aplikasi sebenar. Kaedah pendekatan penyeliaan ini direka berdasarkan data pra-klasifikasi

yang mempunyai prestasi lebih baik berbanding kaedah pendekatan tiada berpenyelia dalam menghasilkan keputusan yang baik untuk imej retina yang sihat.

Xu & Luo (2010) memperkenalkan gabungan beberapa teknik pemprosesan imej dengan pengelasan SVM untuk segmentasi salur darah retina. Penormalan dilakukan pada latar belakang saluran hijau. Salur darah dibahagi menggunakan pengembangan adaptif yang kemudiannya menyingkirkan pinggir pada cakera optik. Imej asal kemudiannya diproses menggunakan gelombang kecil pada pelbagai skala ketika penyarian fitur dilakukan. Pengesanan garis digunakan untuk mengenal pasti salur darah yang mempunyai lebar yang nipis. Vektor bagi 12-D untuk setiap piksel dalam imej binari tidak termasuk salur darah yang mempunyai lebar yang tebal yang telah dibina, dan SVM digunakan untuk membezakan salur darah nipis tersegmen daripada semua fragmen. Kaedah pengesanan berdasarkan kombinasi salur darah dan vektor eigen pada matriks Hessian digunakan untuk pertambahan lebar salur darah yang mempunyai lebar yang nipis bagi mendapatkan salur darah tersegmen. Kekurangan kaedah ini ialah ia hanya memfokuskan segmentasi pada salur darah yang mempunyai lebar yang nipis manakala kelebihan kaedah ini ialah ia mengurangkan pemprosesan yang berat dan segmentasi secara manual. Kaedah ini menghasilkan purata ketetapan Ac 93.28% dan kepekaan Se 77.60%.

You et al. (2011) membangunkan kaedah hasil gabungan unjuran jejari dan kaedah separuh selia menggunakan SVM untuk segmentasi salur darah retina. Kedudukan garis tengah dan sempadan salur darah yang sempit dan kontra yang rendah ditentukan menggunakan unjuran jejari. Gelombang kecil kompleks diubah suai untuk meningkatkan salur darah retina dan kekuatan garis digunakan untuk meningkatkan imej salur darah untuk menjana ciri-ciri vektor. Pengelasan SVM pula digunakan dalam latihan separuh selia untuk mengekstrak struktur utama pada salur darah retina. Kelebihan kaedah ini ialah ia mampu mengesan kontra yang rendah dan sempit pada salur darah tetapi cenderung kepada kesilapan dalam kes patologi. Ujian dilakukan pada pangkalan data DRIVE dan STARE dengan purata ketepatan, Ac masing-masing 94.34% dan 94.97%.

RUJUKAN

- Akram, M.U., Tariq, A. & Khan, S.a. 2009. Retinal image blood vessel segmentation. *2009 International Conference on Information and Communication Technologies* hlm. 181–192. doi:10.1109/ICICT.2009.5267194.
- Amin, M.A. & Yan, H. 2011. High speed detection of retinal blood vessels in fundus image using phase congruency. *Soft Computing* 15(6): 1217–1230. doi:10.1007/s00500-010-0574-2.
- BruceBlaus. 2014. Medical gallery of Blausen Medical.
- Bussel, I., Wollstein, G. & Schuman, J. 2014. OCT for glaucoma diagnosis, screening and detection of glaucoma progression. *British Journal of Ophthalmology* 98(Suppl II): ii15–ii19. doi:10.1136/bjophthalmol-2013-304326.
- Chang, C.C., Lin, C.C., Pai, P.Y. & Chen, Y.C. 2009. A Novel Retinal Blood Vessel Segmentation Method Based on Line Operator and Edge Detector. *2009 Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing* hlm. 3–6. doi:10.1109/IIH-MSP.2009.232.
- Chaudhuri, S., Chatterjee, S., Katz, N., Nelson, M. & Goldbaum, M. 1989. Detection of blood vessels in retinal images using two-dimensional matched filters. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 8(3): 263–269.
- Cheung, C.Y., Tay, W.T., Mitchell, P., Wang, J.J., Hsu, W., Lee, M.L., Lau, Q.P., Zhu, A.L., Klein, R., Saw, S.M. & Wong, T.Y. 2011. Quantitative and qualitative retinal microvascular characteristics and blood pressure. *Journal of Hypertension* 29(7): 1380–1391. doi:10.1097/HJH.0b013e328347266c.
- Cheung, C.Y.L., Ikram, M.K., Sabanayagam, C. & Wong, T.Y. 2012. Retinal microvasculature as a model to study the manifestations of hypertension. *Hypertension* 60(5): 1094–1103. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.111.189142.
- Cinsdikici, M.G. & Aydin, D. 2009. Detection of blood vessels in ophthalmoscope images using MF/ant (matched filter/ant colony) algorithm. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 96(2): 85–95. doi:10.1016/j.cmpb.2009.04.005.
- Costa, R.A., Skaf, M., Melo, L.A.S., Calucci, D., Cardillo, J.A., Castro, J.C., Huang, D. & Wojtkowski, M. 2006. Retinal assessment using optical coherence tomography. *Progress in Retinal and Eye Research* 25(3): 325–353. doi:10.1016/j.preteyeres.2006.03.001.
- Dorigo, M. & Stützle, T. 2004. *Ant Colony Optimization*.

- Doris, N., Hart, P.M., Chakravarthy, U., McClelland, J., Stevenson, M., Hudson, C. & Jackson, J. 2001. Relation between macular morphology and visual function in patients with choroidal neovascularisation of age related macular degeneration hlm. 184–188.
- Facey, K., Cummins, E., Macpherson, K., Morris, A., Reay, L. & Slattery, J. 2002. *Organisation of services for diabetic retinopathy screening. Health Technology Assessment Report 1.*
- Fang, B., Hsu, W. & Lee, M. 2003. Reconstruction of vascular structures in retinal images. *Proceedings 2003 International Conference on Image Processing (Cat. No.03CH37429)* 3: II–157–60. doi:10.1109/ICIP.2003.1246640.
- Frangi, A.F., Niessen, W.J., Vincken, K.L. & Viergever, M.a. 1998. Multiscale vessel enhancement filtering. *Medial Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI'98. Lecture Notes in Computer Science, vol 1496* 1496: 130–137. doi:10.1016/j.media.2004.08.001.
- Fraz, M.M., Barman, S.A., Remagnino, P., Hoppe, A., Basit, A., Uyyanonvara, B., Rudnicka, A.R. & Owen, C.G. 2012a. An approach to localize the retinal blood vessels using bit planes and centerline detection. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 108(2): 600–616. doi:10.1016/j.cmpb.2011.08.009.
- Fraz, M.M., Remagnino, P., Hoppe, A., Uyyanonvara, B., Rudnicka, A.R., Owen, C.G. & Barman, S.A. 2012b. Blood vessel segmentation methodologies in retinal images - A survey. doi:10.1016/j.cmpb.2012.03.009.
- Gramatikov, B.I. 2014. Modern technologies for retinal scanning and imaging: an introduction for the biomedical engineer. *BioMedical Engineering OnLine* 13(1): 52. doi:10.1186/1475-925X-13-52.
- Haleem, M.S., Han, L., van Hemert, J. & Li, B. 2013. Automatic extraction of retinal features from colour retinal images for glaucoma diagnosis: A review. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 37(7-8): 581–596. doi: 10.1016/j.compmedimag.2013.09.005.
- Hata, M., Oishi, A., Mandai, M. & Kurimoto, Y. 2012. Possible vitreous involvement in a case with rapidly progressing choroidal neovascularization. *Indian journal of ophthalmology* 60(1): 57–58. doi:10.4103/0301-4738.91348.
- Hayashi, J., Kunieda, T., Cole, J., Soga, R., Hatanaka, Y., Hara, T. & Fujita, H. 2001. A development of computer-aided diagnosis system using fundus images. *Proceedings Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia* hlm. 429–438. doi:10.1109/VSMM.2001.969697.
- Heneghan, C., Flynn, J., O'Keefe, M. & Cahill, M. 2002. Characterization of changes in blood vessel width and tortuosity in retinopathy of prematurity using image analysis. *Medical Image Analysis* 6(4): 407–429. doi:10.1016/S1361-8415(02)

00058-0.

- Hoover, A. 2000. Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 19(3): 203–210. doi:10.1109/42.845178.
- Hoover, A. & Goldbaum, M. 2003. Locating the optic nerve in a retinal image using the fuzzy convergence of the blood vessels. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 22(8): 951–958. doi:10.1109/TMI.2003.815900.
- Hou, Y. 2014. Automatic Segmentation of Retinal Blood Vessels Based on Improved Multiscale Line Detection. *Journal of Computing Science and Engineering* 8(2): 119–128. doi:10.5626/JCSE.2014.8.2.119.
- Hutchinson, A., McIntosh, A., Peters, J., O’Keeffe, C., Khunti, K., Baker, R. & Booth, A. 2000. Effectiveness of screening and monitoring tests for diabetic retinopathy - A systematic review. *Diabetic Medicine* 17(7): 495–506. doi:10.1046/j.1464-5491.2000.00250.x.
- Joussen, A.M., Gardner, T.W., Kirchhof, B. & Ryan, S.J. 2007. *Retinal Vascular Disease*. Springer.
- Kauppi, T. 2010. *Eye Fundus Image Analysis for Automatic Detection of Diabetic Retinopathy*.
- Kelkar, Y. & Khan, I. 2013. Multi-Scale Segmentation of Retinal Blood Vessels based on Linear Tracking Method 1(7).
- Kirbas, C. & Quek, F.K.H. 2003. Vessel extraction techniques and algorithms : A survey. *Proceedings - 3rd IEEE Symposium on BioInformatics and BioEngineering, BIBE 2003*, hlm. 238–245. IEEE. doi:10.1109/BIBE.2003.1188957.
- Kirbas, C. Quek, F. 2004. A review of vessel extraction techniques and algorithms. *Computing Surveys* 36(2): 81–121. doi:10.1145/1031120.1031121.
- Klein, B.E.K., Heiss, G., Hubbard, L.D. & Duncan, B.B. 2004a. Retinal Microvascular Abnormalities and Renal Dysfunction: The Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Journal of the American Society of Nephrology* 15(9): 2469–2476. doi:10.1097/01.ASN.0000136133.28194.E4.
- Klein, B.E.K., Klein, R., Hall, E.R., Lee, K.E. & Jensen, K. 2004b. Retroilluminated Lens Opacities as Imaging hlm. 668–670.
- Kondermann, C., Kondermann, D. & Yan, M. 2007. Blood vessel classification into arteries and veins in retinal images. doi:10.1117/12.708469.
- Lauralee, S. 2001. *Human Physiology From Cells to Systems*. Brooks Cole, 7th edition.

- Liechty, J.M. 2014. Causes of Retinal Hemorrhages and Papilledema in Young Children (Optometry & Visual Performance): 307–313.
- Lin, E.H.B., Von Korff, M., Peterson, D., Ludman, E.J., Ciechanowski, P. & Katon, W. 2014. Population targeting and durability of multimorbidity collaborative care management. *American Journal of Managed Care* 20(11): 887–893. doi: 10.1016/j.pestbp.2011.02.012.Investigations.
- Lu, J., Mai, G., Luo, Y., Li, M., Cao, D., Wang, X., Yan, H., Sadda, S.V.R. & Lu, L. 2017. Appearance of Far Peripheral Retina in Normal Eyes by Ultra-widefield Fluorescein Angiography. *American Journal of Ophthalmology* 173: 84–90. doi:10.1016/j.ajo.2016.09.024.
- M Fraz, M., Basit, A. & Barman, S.A. 2013. Application of morphological bit planes in retinal blood vessel extraction. *Journal of Digital Imaging* 26(2): 274–286. doi:10.1007/s10278-012-9513-3.
- Maheswari, S. & Anandhi, S. 2014. Classification of Retinal Vessels, Into Arteries And Veins - A Survey. *International Journal on Computational Science & Applications* 4(6): 69–78. doi:10.5121/ijcsa.2014.4606.
- Marín, D., Aquino, A., Gegúndez-Arias, M.E. & Bravo, J.M. 2011. A new supervised method for blood vessel segmentation in retinal images by using gray-level and moment invariants-based features. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 30(1): 146–158. doi:10.1109/TMI.2010.2064333.
- McGrory, S., Cameron, J.R., Pellegrini, E., Warren, C., Doubal, F.N., Deary, I.J., Dhillon, B., Wardlaw, J.M., Trucco, E. & MacGillivray, T.J. 2017. The application of retinal fundus camera imaging in dementia: A systematic review. *Alzheimer's and Dementia: Diagnosis, Assessment and Disease Monitoring* 6(December): 91–107. doi:10.1016/j.dadm.2016.11.001.
- Mendonça, A.M. & Campilho, A. 2006. Segmentation of Retinal Blood Vessels by Combining the Detection of Centerlines and Segmentation of Retinal Blood Vessels by Combining the Detection of Centerlines and Morphological Reconstruction. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 25(September): 1200–1213. doi:10.1109/TMI.2006.879955.
- Mirsharif, Q., Tajeripour, F. & Pourreza, H. 2013. Automated characterization of blood vessels as arteries and veins in retinal images. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 37(7-8): 607–617. doi:10.1016/j.compmedimag.2013.06.003.
- Mohammadzadeh, A., Tavakoli, A. & Zoej, M.J.V. 2006. Road Extraction Based On Fuzzy Logic Pan-sharpened Ikonos Images 21(March): 44–60.
- Nguyen, U.T., Bhuiyan, A., Park, L.A. & Ramamohanarao, K. 2013. An effective retinal blood vessel segmentation method using multi-scale line detection. *Pattern Recognition* 46(3): 703–715. doi:10.1016/j.patcog.2012.08.009.

- Odstreilik, J., Kolar, R., Kubena, T., Cernosek, P., Budai, A., Horneegger, J., Gazarek, J., Svoboda, O., Jan, J. & Angelopoulou, E. 2013. Retinal vessel segmentation by improved matched filtering: evaluation on a new high-resolution fundus image database. *IET Image Processing* 7(4): 373–383. doi:10.1049/iet-ipr.2012.0455.
- Otsu, N. 1979. A Threshold Selection Method from Gray-level Histogram. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 9(1): 62–66.
- Pascolini, D. & Mariotti, S.P. 2012. Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology* 96(5): 614–618. doi:10.1136/bjophthalmol-2011-300539.
- Patton, N., Aslam, T. & MacGillivray, T. 2006. Retinal image analysis: concepts, applications and potential. *Retinal and Eye Research* 25(1): 99–127. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.preteyeres.2005.07.001>.
- Pérez, M.A., Bruce, B.B., Newman, N.J. & Biousse, V. 2012. The Use of Retinal Photography in Nonophthalmic Settings and Its Potential for Neurology 18(6): 350–355. doi:10.1097/NRL.0b013e318272f7d7.
- Qin Li, Lei Zhang, Zhang, D. & Bhattacharya, P. 2006. A New Approach to Automated Retinal Vessel Segmentation Using Multiscale Analysis. *18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)* hlm. 77–80. doi:10.1109/ICPR.2006.112.
- Rahebi, J. & Hardalaç, F. 2014. Retinal blood vessel segmentation with neural network by using gray-level co-occurrence matrix-based features. *Journal of medical systems* 38(8): 85. doi:10.1007/s10916-014-0085-2.
- Remington, L.A. 2012. *Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System*. Elsevier Butterworth Heinemann, 3rd editio edisi. doi:10.1016/B978-1-4377-1926-0.10001-3.
- Ribeiro, L., Bernardes, R. & Cunha-Vaz, J. 2011. Computer-aided Analysis of Fundus Photographs. *European Ophthalmic Review* 05(02): 104. doi:10.17925/EOR.2011.05.02.104.
- Ricci, E. & Perfetti, R. 2007. Retinal blood vessel segmentation using line operators and support vector classification. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 26(10): 1357–1365. doi:10.1109/TMI.2007.898551.
- Ritika, R. & Kaur, S. 2013. Contrast Enhancement Techniques for Images - A Visual Analysis. *International Journal of Computer Applications* 64(17): 20–25. doi:10.5120/10727-5679.
- Ronald, P.C. & Khaw, P.T. 2003. *A textbook of clinical ophthalmology*. World Scientific Publishing Company, 3rd editio edisi.

- Rosenfeld, P.J., Durbin, M.K., Roisman, L., Zheng, F., Miller, A., Robbins, G., Schaal, K.B. & Gregori, G. 2016. ZEISS Angioplex™ Spectral Domain Optical Coherence Tomography Angiography: Technical Aspects. *Developments in Ophthalmology* 56: 18–29. doi:10.1159/000442773.
- Saleh, M.D., Eswaran, C. & Mueen, A. 2011. An automated blood vessel segmentation algorithm using histogram equalization and automatic threshold selection. *Journal of Digital Imaging* 24(4): 564–572. doi:10.1007/s10278-010-9302-9.
- Sb, S. & Singh, V. 2012. Automatic Detection of Diabetic Retinopathy in Non-dilated RGB Retinal Fundus Images. *International Journal of Computer Applications* 47(19): 26–32. doi:10.5120/7297-0511.
- Schaefer, G. & Leung, E. 2007. Neural Networks for Exudate Detection in Retinal Images. *ISVC 2007, Part II* 4842: 298306.
- Singh, O.I. & James, O. 2012. Local Contrast and Mean based Thresholding Technique in Image Binarization. *International Journal of Computer Applications* 51(6): 5–10. doi:10.5120/8044-1362.
- Sivakumar, R., Gayathri, M.K. & Nedumaran, D. 2010. Speckle Filtering of Ultrasound B-Scan Images - A Comparative Study of Single Scale Spatial Adaptive Filters, Multiscale Filter and Diffusion Filters. *International Journal of Engineering and Technology* 2(6): 514–523.
- Snell, R.S. & Lemp, M.A. 1998. *Clinical Anatomy of the Eye*. Blackwell Science, second edi edisi. doi:10.1097/00006324-199002000-00018.
- Soares, J., Leandro, J., Cesar, R., Jelinek, H. & Cree, M. 2006. Retinal vessel segmentation using the 2-D Gabor wavelet and supervised classification. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 25(9): 1214–1222. doi:10.1109/TMI.2006.879967.
- Staal, J.J., Abramoff, M.D., Niemeijer, M., Viergever, M.a. & Van Ginneken, B. 2005. Ridge based vessel segmentation in color images of the retina. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 23(4): 501–509. doi:10.1109/TMI.2004.825627.
- Szpak, Z.L. & Tapamo, J.R. 2007. Automatic Retinal Vessel Segmentation. *Proceedings of the Eighteenth Annual Symposium of the Pattern Recognition Association of South Africa* hlm. 3–8.
- Trichonas, G. & Kaiser, P.K. 2014. Optical coherence tomography imaging of macular oedema. *Br J Ophthalmol* 98 Suppl 2(Suppl 2): ii24–9. doi:10.1136/bjophthalmol-2014-305305.
- Van Leeuwen, R., Chakravarthy, U., Vingerling, J.R., Brussee, C., Hooghart, A.J., Mulder, P.G. & De Jong, P.T.V.M. 2003. Grading of age-related maculopathy for epidemiological studies: Is digital imaging as good as 35-mm film?

Ophthalmology 110(8): 1540–1544. doi:10.1016/S0161-6420(03)00501-3.

Vlachos, M. & Dermatas, E. 2010. Multi-scale retinal vessel segmentation using line tracking. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 34(3): 213–227. doi: 10.1016/j.compmedimag.2009.09.006.

Walter, T. & Klein, J.C. 2001. Segmentation of Color Fundus Images of the Human Retina: Detection of the Optic Disc and the Vascular Tree Using Morphological Techniques. *Medical Data Analysis* hlm. 282–287. doi: 10.1007/3-540-45497-7{_}43.

WHO. 2006. The global initiative for the elimination of avoidable blindness - vision 2020: the right to sight. .

Winder, R.J., Morrow, P.J., McRitchie, I.N., Bailie, J.R. & Hart, P.M. 2009. Algorithms for digital image processing in diabetic retinopathy. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 33(8): 608–622. doi:10.1016/j.compmedimag.2009.06.003.

Xu, L. & Luo, S. 2010. A novel method for blood vessel detection from retinal images. *Biomedical engineering online* 9(1): 14. doi:10.1186/1475-925X-9-14.

You, X., Peng, Q., Yuan, Y., Cheung, Y.M. & Lei, J. 2011. Segmentation of retinal blood vessels using the radial projection and semi-supervised approach. *Pattern Recognition* 44(10-11): 2314–2324. doi:10.1016/j.patcog.2011.01.007.

Zana, F. & Klein, J.C. 2001. Segmentation of vessel-like patterns using mathematical morphology and curvature evaluation. *IEEE Transactions on Image Processing* 10(7): 1010–1019. doi:10.1109/83.931095.

Zhang, B., Li, Q., Zhang, L., You, J. & Karray, F. 2010. Retinal vessel centerline extraction using multiscale matched filter and sparse representation-based classifier. D. Zhang & M. Sonka (pnyt.) *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, jil. 6165 LNCS of *Lecture Notes in Computer Science*, bab 19, hlm. 181–190. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-13923-9{_}19.

Zhang, X. & Fan, G. 2006. Multiscale Morphological Processing hlm. 490–501.

Zulkifley, M.A. & Moran, B. 2010. Enhancement of robust foreground detection through masked GreyWorld and color co-occurrence approach. *Proceedings - 2010 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, ICCSIT 2010* 4: 131–136. doi:10.1109/ICCSIT.2010.5565166.